

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN:

CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD Y DESARROLLO

Coordinadores:

Jorge Luis Costafreda Mustelier
José Luis Parra y Alfaro
Benjamín Calvo Pérez

Ponencias y comunicaciones

VIII JORNADAS IBEROAMERICANAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
Lima, Perú. 23 y 24 de Agosto de 2010



VIII Jornadas Iberoamericanas
de Materiales de Construcción
2010

L I M A - P E R Ú

PONENCIAS Y
COMUNICACIONES

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN:

CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD Y DESARROLLO

TÍTULO DE LA OBRA:

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD Y DESARROLLO.

PONENCIAS Y COMUNICACIONES.

COORDINADORES:

JORGE LUIS COSTAFREDA MUSTELIER
JOSÉ LUIS PARRA Y ALFARO
BENJAMÍN CALVO PÉREZ

Copyright de:

Fundación Gómez-Pardo
Madrid 2011
ISBN: 978-84-694-1672-3
Nº Registro: 11/24860
Fecha: 09/03/2011

Editado por:



Fundación Gómez-Pardo
Alenza, 1. 28003.
Madrid (España).
Tel: (+34 91 336 7030)
Web: www.minas.upm.es/fundacion/fgp/

IMPRESO EN ESPAÑA

Todos los derechos reservados. Prohibida la reproducción parcial o total bajo ninguna de las formas electrónicas o mecánicas, incluido el fotocopiado o grabación o por ningún sistema de almacenamiento y reproducción, salvo autorización escrita de los coordinadores y del Editor.



PALABRAS DE BIENVENIDA

Estimados amigos:

De nuevo nos encontramos para celebrar las **VIII Jornadas Iberoamericanas de Materiales de Construcción** durante los días 23 y 24 de agosto, esta vez en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Lima (TECSUP).

Estoy seguro que esta nueva cita reunirá, como siempre, a los profesionales y científicos más destacados, cuyo ejercicio versa en un campo tan amplio como importante como el de los Materiales de Construcción.

La sociedad demanda, cada vez más, materiales sostenibles, duraderos y eficaces, pero al mismo tiempo, y no muy en zaga, exige un profundo respeto por el medioambiente, la racionalización consciente de los recursos naturales y la incentivación para establecer un hábito cívico de reciclaje.

El tema principal de las Jornadas es, como en ocasiones anteriores, el hormigón o concreto y los materiales constitutivos (cemento, áridos o agregados y adiciones); y se han valorado también, como en ocasiones anteriores, trabajos relativos a piedra ornamental, cales, yesos, puzolanas y otros materiales de construcción.

En la amplia variedad de trabajos admitidos se ha tenido en cuenta los temas relacionados con la exploración, explotación, tratamiento, aplicaciones, innovación, mercados, medio ambiente y legislación. Además, se ha detectado un aspecto novedoso, como es la predicción sobre el sector de los materiales de construcción a corto y largo plazo.

Por tanto, el lema de estas nuevas jornadas "**MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD Y DESARROLLO**", justifica con creces los propósitos y planteamientos que aquí se dan a conocer.

Es nuestro deseo que tu participación en estas **VIII Jornadas Iberoamericanas de Materiales de Construcción**, quede satisfecha, y que los temas presentados llenen y estimulen tus expectativas y tus conocimientos.

Un afectuoso saludo para todos.

Doctor José Luis Parra y Alfaro.

Presidente del Comité Científico.

COMITÉ CIENTÍFICO

D. José Luis Parra y Alfaro (Presidente).

D. Benjamín Calvo Pérez.

D. Jorge Luis Costafreda Mustelier.

D. David Revuelta Crespo.

D. Jorge Fontana Piatti.

D. César Luaces Frades.

D. Javier Agustín Leggiero.



COMITÉ ORGANIZADOR

D. Juan Luis Bouso Aragonés (Presidente).

D. Rodolfo Guerra Fernández.

D. Venancio Astucuri Tinoco.

D. Jorge Luis Costafreda Mustelier.

D. Marcelo Rizo Patrón.

Da. Rosa Carretón Moreno.



jornada
IBEROAMERICANA
DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
LIMA - PERÚ - 2010

LUGAR DE CELEBRACIÓN:

INSTITUTO TÉCNICO SUPERIOR DE LIMA (TECSUP)

Av. Cascanueces 2221. Santa Anita.

Lima. Perú.

Teléfono: 317-3900 Fax: 317-3901



INSTITUCIONES PARTICIPANTES

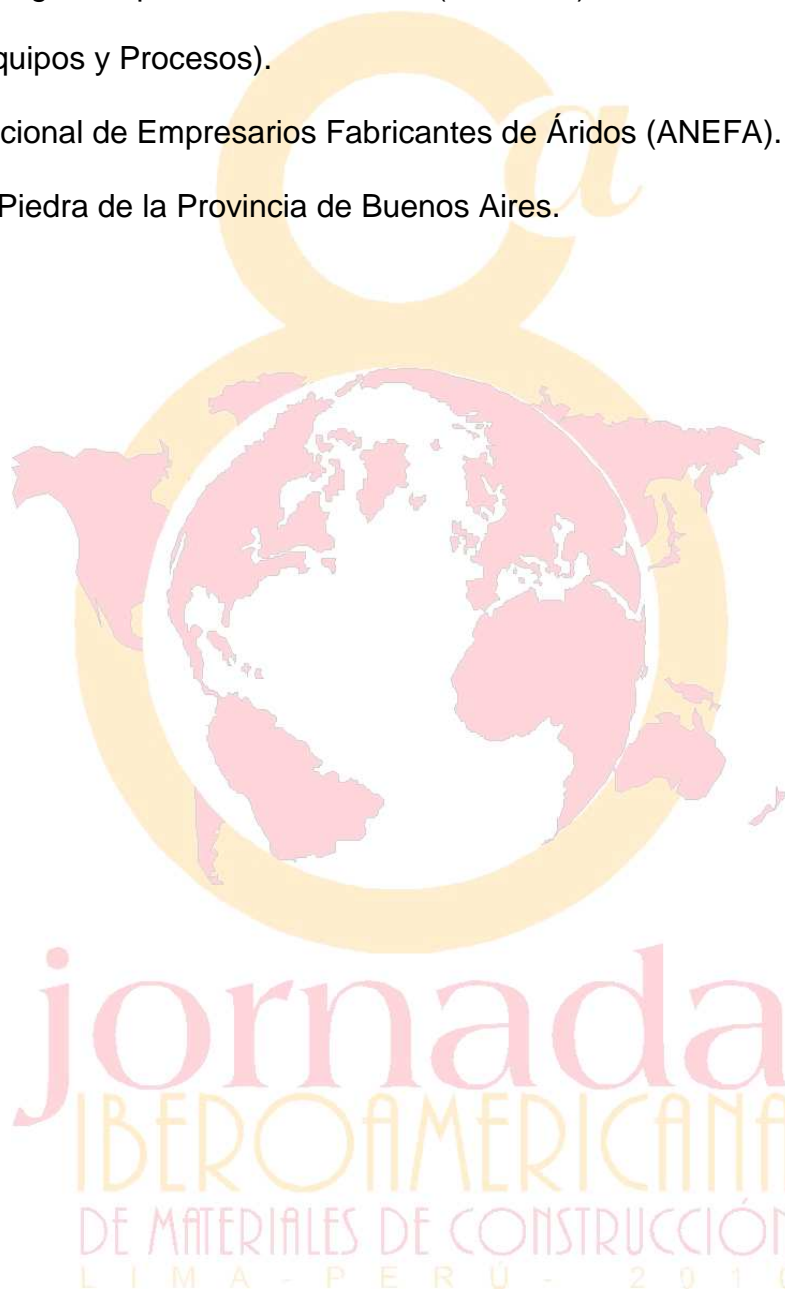
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas (UPM).

Instituto Tecnológico Superior de Lima, Perú (TECSUP).

Eral Group (Equipos y Procesos).

Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos (ANEFA).

Cámara de la Piedra de la Provincia de Buenos Aires.





PARTICIPANTES

NOMBRE Y APELLIDOS	INSTITUCIÓN	PAÍS
Andrada Andrada, Francisco Javier	ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESARIOS FABRICANTES DE ÁRIDOS-ANEFA	ESPAÑA
Benegas, Óscar Armando	Universidad Nacional de San Luis-Argentina	ARGENTINA
Bolla, Gustavo Luis	Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Paraná	ARGENTINA
Bouso Aragonés, Juan Luis	ERAL, EQUIPOS Y PROCESOS S.A.	ESPAÑA
Caballé, Marcelo Fernando	FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA	ARGENTINA
Calvo Pérez, Benjamín	E.T.S.I. Minas Madrid-UPM	ESPAÑA
Carabajal, Ana Lia	Cantera Piatti S.A.	ARGENTINA
Cayre Gironés, José A.	ERAL EQUIPOS Y PROCESOS S.A.	ESPAÑA
Costafreda Mustelier, Jorge Luis	E.T.S.I. Minas Madrid-UPM	ESPAÑA
Etcheverry, Ricardo Óscar	INSTITUTO DE RECURSOS MINERALES, FCN Y MUSEO UNLP-CICBA-Argentina	ARGENTINA
Fadencini, Susana Rosa	Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Paraná	ARGENTINA
Fontana Piatti, Jorge	Cantera Piatti S. A.	ARGENTINA
García Recio, Paloma	FEDERACIÓN DE ÁRIDOS-FDA	ESPAÑA
Guerra Fernández, Rodolfo	Cámara de la Piedra	ARGENTINA
Guillén Viñas, José Luis	E.T.S.I. Minas Madrid-U.P.M.	ESPAÑA
Huayta, Paul	Agregados UNICON-PERÚ	PERÚ
Leal Orozco, Lucía	E.T.S.I. Minas Madrid-UPM	ESPAÑA
Leggiero, Javier Agustín	CANTERAS YARAVÍ-ARGENTINA	ARGENTINA
López, Patricia Viviana	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL-FACULTAD REGIONAL PARANÁ	ARGENTINA
Luaces Frades, César	ANEFA-FEDERACIÓN DE ÁRIDOS-FDA	ESPAÑA
Maceda Alonso, Mónica	E.T.S.I. MINAS MADRID	ESPAÑA
Martín Pérez, Sandra	E.T.S.I. MINAS MADRID	ESPAÑA
Médici, María Elizabeth	Dpto. de Minería-INFAP CONICET, Universidad Nacional de San Luis	ARGENTINA
Morales, Ana	Universidade Federal de Ouro Preto-Dpto. de Geología	BRASIL
Moraño Rodríguez, Alfonso J.	E.T.S.I. MINAS MADRID	ESPAÑA
Núñez Fernández, Adolfo	E.T.S.I. Minas Madrid-UPM	ESPAÑA
Núñez Leal, María Felipa	ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESARIOS FABRICANTES DE ÁRIDOS-ANEFA	ESPAÑA
Parra y Alfaro, José Luis	E.T.S.I. Minas Madrid-UPM	ESPAÑA
Patrón Costas, Enrique	Canteras Piatti	ARGENTINA
Peralta Sánchez, Miguel Genaro	Universidade Federal de Ouro Preto-Dpto. de Geología	BRASIL
Pizone. José Alfredo	Federación Argentina de la Piedra	ARGENTINA
Prado Govea, Raúl Hugo	UNIVERSIDAD DE ALICANTE (Dpto. de Construcciones Arquitectónicas)	ESPAÑA
Proaño Cadena, Gastón Nicolás	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL (ECUADOR)	ECUADOR
Puig i Canal Jaume	FEDERACIÓN DE ÁRIDOS	ESPAÑA
Requena Espada, Dolores	ERAL-CHILE S.A.	CHILE
Ríos Carranza, Alberto Martín	CUMBRES EXPLORACIONES, S.A.C.	PERÚ
Ruggiero, Mónica Teresa	CANTERAS YARAVÍ S.A.	ARGENTINA
Sánchez Pajas, Carolina	E.T.S.I. MINAS MADRID	ESPAÑA
Tobón, Jorge Iván	UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA-SEDE MEDELLÍN	COLOMBIA

RESÚMENES



INDICE DE RESÚMENES

TÍTULO/AUTOR	AUTOR/ES	PÁGINA
APLICACIÓN DE HORMIGON MASIVO EN LA RECONSTRUCCION DE LA CARRETERA PUERTO INCA -MOLLETURO - CUENCA EN LA REPUBLICA DEL ECUADOR	Gastón Proaño Cadena	13
ARIDOS DE EXPLOTACION PRIMARIA DE LA FORMACIÓN BALCARCE: BLOQUES CEMENTICIOS ALTERNATIVOS PARA EL HÁBITAT POPULAR EN EL MARCO DE UN MODELO DE GESTIÓN UNIVERSIDAD-EMPRESA	Fernando Cacopardo, María Inés Cusán, Javier Leggiero, Ariel Ondartz y Mónica Ruggiero	15
NIVELES DE ARCILLAS FERRUGINOSAS EN LAS SIERRAS SEPTENTRIONALES DE BUENOS AIRES, ARGENTINA. SU APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL	Ricardo Etcheverry, Marío Tessone, Marcelo Caballé y Raúl Fernández	16
CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE LADRILLOS ELABORADOS CON ESTÉRILES DE CANTERAS	L M Forte, M F Caballé, M A Hurtado y J L del Río	17
HORMIGÓN CON INCORPORACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS	Gustavo Luis Bolla, Patricia Viviana López, Susana Rosa Facendini	18
DOSAGEM DE CONCRETOS RECICLADOS UTILIZANDO O MÉTODO DO EMPACOTAMENTO COMPRESSÍVEL	Jodilson Amorim Carneiro, João Gualberto L. Figueiredo Filho, Adolfo Jacques Oliveira Bastos, Monica Batista Leite y Koji de Jesus Nagahama.	19
CRITERIOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE TOBAS DÁCITICAS EN LA SUSTITUCIÓN DE CEMENTO PÓRTLAND EN MORTEROS Y HORMIGONES.	Costafreda, J.L. Calvo, B. y Parra, J.L.	21
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN ESPAÑA (PANORAMA 2010)	Calvo Pérez, B. Regueiro y González-Barros, M.	22
EFFECTOS SOBRE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LA ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN EL CEMENTO PORTLAND	Jorge Iván Tobón, Oscar Jaime Restrepo y Jordi Payá	23
LA CONSTRUCCIÓN EN EL ANTIGUO PERÚ	Juan Luis Bouso Aragonés	24
CONSTRUCTION IN THE ANCIENT PERÚ	Loreley Beltramini, Maria Fernanda Carrasco, Rudy Grether, Anabela Guillarducci y Mariano Suarez.	25
VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE LA DEPURACIÓN DEL CARBÓN MINERAL. ANÁLISIS PARA SU USO COMO ADICIONES MINERALES PARA EL CEMENTO.	María Elizabeth Médici, Oscar Armando Benegas, Oscar Cosme Nocera, Rodolfo Omar Uñac y Ana María Vidales	26
AUMENTO DE LA RESISTENCIA EN HORMIGÓN CON AGREGADOS DE DISTINTO ORIGEN DE MOLIENDA	Cacopardo, Fernando, Cusán, María Ines, Leggiero Javier, Ondartz, Ariel, Ruggiero, Mónica	27
SUBPRODUCTOS DE EXPLOTACIÓN DE ARIDOS: BLOQUES CEMENTICIOS ALTERNATIVOS PARA EL HÁBITAT POPULAR EN EL MARCO DE UN MODELO DE GESTIÓN UNIVERSIDAD-EMPRESA.	Alfonso J. Moraño Rodríguez, José Luis Guillén Viñas	29
EL ENFIBRADO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Dulce Gómez-Limón, Adolfo Núñez F, Cristina Téllez, Irene Gozalo	32
ESTUDIO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE ACERO EN EQUIPOS DE TRITURACIÓN DE ÁRIDOS		

NECESIDAD DE LAVADO DE ARENAS DE TRITURACIÓN BAJO CONDICIONES EXTREMAS POR EXIGENCIAS MEDIOAMBIENTALES Y FALTA DE DISPONIBILIDAD DE AGUA. INSTALACIÓN DE PLANTA ERAL CON ALTO RECUPERO DE AGUA EN EL PROCESO DE LAVADO, OBTENCIÓN DE ARENAS TRITURACIÓN LAVADAS Y FILLER GRANÍTICO DE ALTA CALIDAD.	Patrón Costas Enrique, José Alfredo Pizone, Ing Jorge D. Fontana, Gabriel Gunther.	33
ARCILLAS FERRUGINOSAS EN LAS SIERRAS SEPTENTRIONALES DE BUENOS AIRES, ARGENTINA. SU APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL.	Ricardo Etcheverry, Marío Tessone, Marcelo Caballé y Raúl Fernández.	34
PRODUÇÃO DE BLOCOS COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE SERRAGEM DE ROCHAS ORNAMENTAIS	Washington Almeida Moura, Monica Batista Leite	35
CÁTEDRA EMPRESA ANEFA DE TECNOLOGÍA DE ÁRIDOS. ACTIVIDADES REALIZADAS	Dulce Gómez-Limón Adolfo Núñez F.	37
DEPOSICIÓN FINAL Y USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE LA FUTURA CENTRAL TÉRMICA 240 MW DE RIO TURBIO (ARGENTINA)	Alberto Ramos Millán, Carolina Sánchez Pajas	38
PRUEBAS DE INFORMACION DE UNA DOSIFICACION DE HORMIGON PARA EJECUTAR UNA OBRA HIDROTECNICA.	Ignacio Sinconegui Núñez, Sandra LLorca Sánchez	40
PROGRESO DE FISURAS PRIMARIAS EN PILOTES DE HORMIGON ARMADO	Ignacio Sinconegui Núñez, Sandra LLorca Sánchez	41
EMPLEO DE MICRO-HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES EXPANSORES PARA EL REFUERZO DE PILARES DAÑADOS	David Revuelta, Pedro Carballosa, José Pedro Gutiérrez, Luis Fernández	42

APLICACIÓN DE HORMIGON MASIVO EN LA RECONSTRUCCION DE LA CARRETERA PUERTO INCA –MOLLETURO - CUENCA EN LA REPUBLICA DEL ECUADOR

Gastón Proaño Cadena (1).

(1)Escuela Superior Politécnica del Litoral. Prosperina Km. 30.5 vía Perimetral. Guayaquil. Ecuador.
E-mail: gproano@espol.edu.ec

RESUMEN

La carretera Puerto Inca – Molleturo – Cuenca, es una de las vías más grandes para el enlace entre las ciudades de Guayaquil y Cuenca. A esta vía tiene acceso directo el tráfico que viene del sector suroeste del país. El trazado de la carretera interviene formaciones geológicas de origen volcano-sedimentarias y rocas intrusivas de tipo granito, estando todas ellas muy alteradas y tectonizadas.

Durante los últimos 20 años la superficie de rodadura de la carretera estaba conformada por carpeta asfáltica que cada año requería reparación y una necesaria sustitución. Las características de los materiales que conformaban la capa de rodadura y las condiciones del clima, favorecían al proceso de deterioro de la carpeta asfáltica.

El actual Gobierno del Ecuador para dar una solución que garantice el tráfico de forma ininterrumpida y evitar los costos de reparación anual de esta importante vía, decidió construir la carretera con la colocación de una carpeta de hormigón masivo.

El estudio de los materiales utilizados en la fabricación del hormigón masivo como los agregados de río, tipo de cemento, calidad del agua y control de la temperatura de fraguado, es el tema central de este trabajo. El estudio de los materiales que participan en la mezcla del hormigón masivo, colocación, pruebas de campo, ensayos de laboratorio y trabajabilidad del mismo, es la contribución del presente artículo.

ABSTRACT

The Puerto Inca - Molleturo - Cuenca is one of the greatest ways for the link between the cities Guayaquil and Cuenca. This accessed via the traffic that comes from the southwest sector. In the course of the wings involved road type formations volcano-sedimentary and granite-type intrusive rocks that are very emotional.

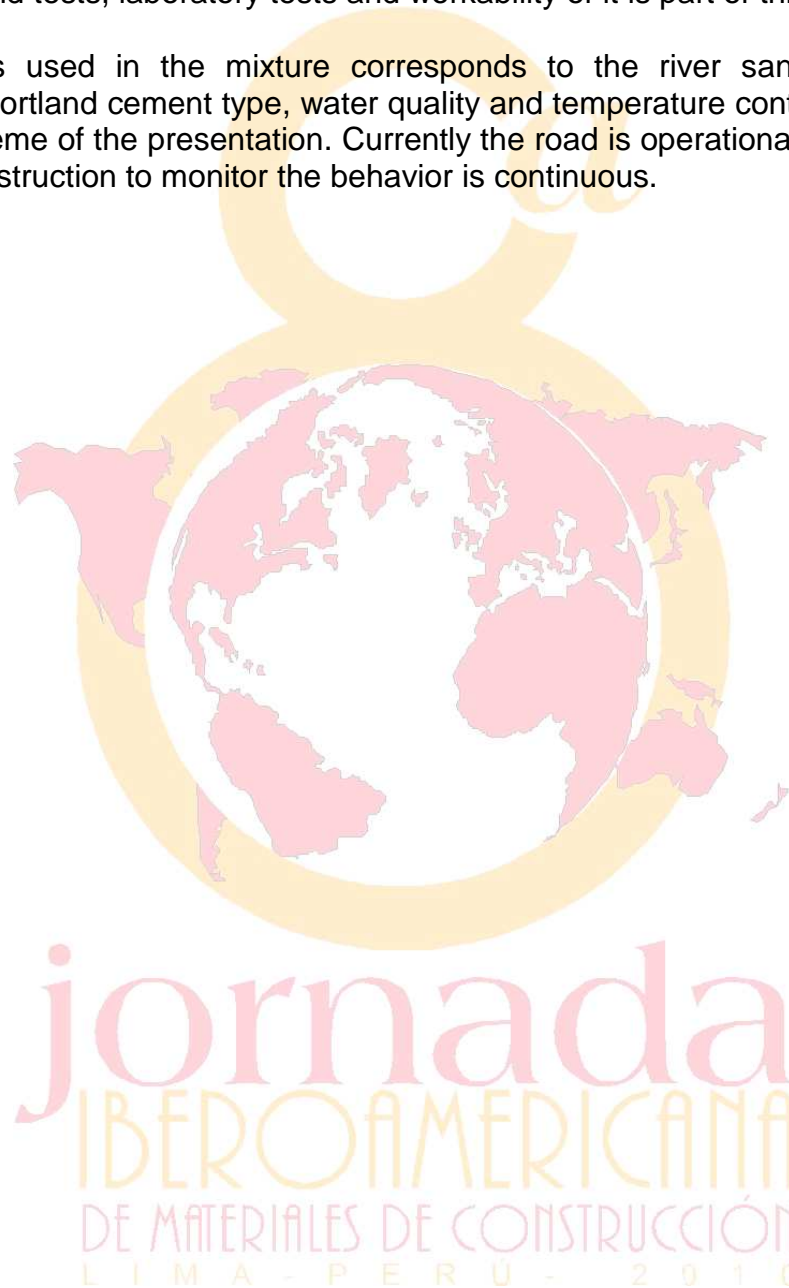
Over the past 20 years the rolling surface of the road consisted of asphalt each year and necessary repairs required replacement, the characteristics of the materials that

make up the pavement and weather conditions contribute to the process of deterioration in the folder asphalt.

The Government of Ecuador to a solution that ensures uninterrupted traffic and avoid the costs of repairing this important road, decided to build the road with the placement of a rigid pavement folder.

The experience of the use of the materials involved in the mix of rigid pavement, placement, field tests, laboratory tests and workability of it is part of this article.

The materials used in the mixture corresponds to the river sand, river gravel aggregates, Portland cement type, water quality and temperature controlled setting is the central theme of the presentation. Currently the road is operational and in the first year after construction to monitor the behavior is continuous.



ARIDOS DE EXPLOTACION PRIMARIA DE LA FORMACIÓN BALCARCE: BLOQUES CEMENTICIOS ALTERNATIVOS PARA EL HÁBITAT POPULAR EN EL MARCO DE UN MODELO DE GESTIÓN UNIVERSIDAD-EMPRESA.

Fernando Cacopardo (1), María Inés Cusán (2), Javier Leggiero (3), Ariel Ondartz (4) y Mónica Ruggiero (5)

(1) Universidad Nacional de Mar del Plata, Consejo Nacional de Investigaciones científicas y tecnológicas (CONICET), Funes 3350, Mar del Plata, Argentina. E-mail: fcacopar@mdp.edu.ar

(2) Universidad Nacional de Mar del Plata, Funes 3350, Mar del Plata, Argentina. E-mail: manes0000@gmail.com

(3) Canteras Yaraví S. A., Av. F - sin número, 7605. Estación Chapadmalal, Buenos Aires, Argentina, E-mail: leggiero@canterasyaravi.com.ar

(4) Universidad Nacional de Mar del Plata, Funes 3350, Mar del Plata, Argentina. E-mail: arielondartz@yahoo.com.ar

(5) Canteras Yaraví S. A., Av. F - sin número, 7605. Estación Chapadmalal, Buenos Aires, Argentina, E-mail: mtrgeoambiental@canterasyaravi.com.ar

RESUMEN

El tema de esta investigación, materiales de reciclado para la construcción y tecnologías apropiadas en una perspectiva ambiental, se inscribe en un marco conceptual más amplio, al cual pertenece: por un lado, el de la pobreza urbana en Argentina y la región y por otro la búsqueda de modelos de gestión alternativos interinstitucionales, en este caso la articulación universidad-empresa. Cada uno de estos aspectos implica un amplio marco de experiencias que sirven de base a la experiencia que aquí se presenta.

En el contexto específico de este congreso solo haremos unas referencias que consideramos centrales para la argumentación de esta presentación y que permite situar esta presentación sobre la utilización de áridos en un contexto que trasciende lo técnico.

NIVELES DE ARCILLAS FERRUGINOSAS EN LAS SIERRAS SEPTENTRIONALES DE BUENOS AIRES, ARGENTINA. SU APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL.

Ricardo Etcheverry(1), Marío Tessone(2), Marcelo Caballé(3) y Raúl Fernández(4)

Instituto de Recursos Minerales (UNLP) – CONICET. Calle 64 n° 3. La Plata. Argentina. Email: retche@inremi.unlp.edu.ar

Instituto de Recursos Minerales (UNLP). Calle 64 n° 3. La Plata. Argentina. Email: mtessone@inremi.unlp.edu.ar

FCNyM, UNLP. Calle 64 n° 3. La Plata. Argentina. Email: mfcaballe@yahoo.com.ar

Instituto de Recursos Minerales (UNLP - CICBA). Calle 64 n° 3. La Plata Argentina. Email: rfernand@inremi.unlp.edu.ar

RESUMEN

Se analizan yacimientos, características y aplicaciones industriales de arcillas ferruginosas (45% promedio de Fe_2O_3). Al consumo en la fabricación de cemento portland (materiales ferrosos 1%, arcillas 2,2%), se agrega la potencialidad en la elaboración de pigmentos para pinturas.

ABSTRACT

In this study are analyzed deposits, characteristics and industrial applications of ferruginous clay (45% average content of Fe_2O_3). To the consumption of this material in the production of portland cement (ferrous materials 1%, clay 2,2%), it is added the potential use for pigments in paints.

Palabras Clave: Arcillas ferruginosas, Aplicación industrial, Sierras Septentrionales, Argentina.

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE LADRILLOS ELABORADOS CON ESTÉRILES DE CANTERAS

L M Forte(1), M F Caballé(2), M A Hurtado(1) y J L del Río(3)

(1) Instituto de Geomorfología y Suelos IGS-CISAUA, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Email: lmforte@igs.edu.ar, martinadolfoh@yahoo.com.ar. Calle 3 n° 584, La Plata, Argentina (2) Cátedra de Fundamentos de Geología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Email: mfcaballe@yahoo.com.ar. Avenida 60 esquina 122, La Plata, Argentina. (3) Centro de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata. Email: julioluisdelrio@gmail.com

RESUMEN

Se evaluaron preliminarmente algunas propiedades tecnológicas de ladrillos cerámicos elaborados con estériles de una explotación minera de roca cuarcítica. Los especímenes ensayados mostraron buena resistencia mecánica a la compresión y el congelamiento.



HORMIGÓN CON INCORPORACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS

Gustavo Luis Bolla (1), Patricia Viviana López (1), Susana Rosa Facendini (1)

(1)Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Paraná. Calle Almafuerde 1033 Paraná. Entre Ríos. Argentina.

E-mail: bollagustavo@arnet.com.ar; patricia_lopez40@hotmail.com; sufacendini@yahoo.com.ar

RESUMEN

El reciclado de materiales de carreteras usado en nuevas obras permite un ahorro energético, ambiental y de costos. Se realizó un estudio comparativo de características y resistencias entre un hormigón convencional y otros elaborados con distintos porcentajes de árido grueso reciclado.

ABSTRACT

The recycling of aggregates from road demolition used in new works, allows energy, environmental and cost savings. A comparative study of characteristics and resistance between a conventional concrete and elaborated with different percentages of recycled coarse aggregate has been made.

DOSAGEM DE CONCRETOS RECICLADOS UTILIZANDO O MÉTODO DO EMPACOTAMENTO COMPRESSÍVEL

Jodilson Amorim Carneiro⁽¹⁾, João Gualberto L. Figueiredo Filho⁽¹⁾, Adolfo Jacques Oliveira Bastos⁽¹⁾, Monica Batista Leite⁽²⁾ y Koji de Jesus Nagahama⁽²⁾

(1) Departamento de Tecnologia. Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental/UEFS. Av. Transnordestina, s/n – Módulo 3. Feira de Santana. Brasil. Email: algeroz@ig.com.br; jglffilho@yahoo.com.br; adolfobastos@hotmail.com

(2) Departamento de Tecnologia. Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental/UEFS. Av. Transnordestina, s/n – Módulo 3. Feira de Santana. Brasil. Email: mleite.uefs@gmail.com, kjnagahama@gmail.com

RESUMO

O trabalho propõe a determinação da dosagem de concretos fabricados com resíduos de construção e demolição (RCD) utilizando o método do empacotamento compressível (MEC), desenvolvido na França, pelo Labotoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC). Foram feitas as caracterizações do cimento, superplastificante e dos agregados naturais e reciclados, e os ensaios específicos propostos pelo método: compacidade por demanda d'água para o cimento e compacidade por compactação e vibração dos agregados naturais e reciclados. Foram realizadas dosagens para um concreto de referência com agregados naturais, e uma dosagem de concreto reciclado utilizando 100% de agregados de RCD. A dosagem foi estabelecida o auxílio do programa Betonlab®, que é baseado nos conceitos teóricos do MEC. Na dosagem foram fixados os parâmetros de abatimento e resistência à compressão axial. Os resultados obtidos através do programa experimental demonstraram que a utilização do RCD modifica os parâmetros de trabalhabilidade e resistência à compressão axial do concreto. Para que fosse atendido a condição de abatimento constante sem alterar de forma significativa a resistência à compressão axial dos concretos produzidos com RCD comparado com o concreto produzido com agregados naturais foi utilizado superplastificante. Desta forma, os resultados de resistência à compressão axial dos concretos com RCD foram superiores aos resultados do concreto de referência. Pode-se concluir a partir dos resultados do programa experimental que o MEC pode ser utilizado na determinação de dosagens de concretos com RCD. Contudo, assim como o concreto convencional, é necessário a implementação do banco de dados com as características dos materiais utilizados, bem como, dos concretos obtidos para melhorar a precisão dos resultados.

Palavras-chave: Resíduo de Construção e Demolição; Concreto; Método do Empacotamento Compressível; Dosagem de concreto.

ABSTRACT

It is proposed to determine the mixture proportion of concrete made with construction and demolition Waste (CDW) using the compressible packing Model (CPM), developed in France by Labotoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC). It was carried out the physical properties determination of the cement, superplasticizer and

natural and recycled aggregates, and specific tests for the CPM: compaction index of cement and compaction index of the natural and recycled aggregates. The packing model was applied to achieve the mix proportions of a conventional concrete, with natural aggregate, and the mix proportions of a concrete using recycled aggregate 100% of CDW. The mix design was established by using a mixture-proportioning program, which is based on the concepts of the CPM. The mix-design parameters were slump and compressive strength. The results obtained from the experimental program demonstrated that the use of CDW modifies the parameters of workability and compressive strength of concrete. Thus, the results of compressive strength of concrete with CDW were superior to the results of the reference concrete. It can be concluded from the experimental results that the CPM can be used in determining the strengths of concrete with CDW. But just as conventional concrete, it is necessary to implement the database with the characteristics of the materials used, as well as the practical results to improve the accuracy of the results.

Key-words: Construction and Demolition Waste; Concrete; compressible packing Model (CPM); Concrete mix design.



CRITERIOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE TOBAS DÁCITICAS EN LA SUSTITUCIÓN DE CEMENTO PÓRTLAND EN MORTEROS Y HORMIGONES.

Costafreda, J.L.(1), Calvo, B.(1) y Parra, J.L. (1)

(1)Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Departamento de Ingeniería Geológica. C/ Ríos Rosas, 21. 28003. Madrid. (costafreda@yahoo.es); (benjamin.calvo.perez@gmail.com) y (joseluis.parra@upm.es).

RESUMEN:

Los materiales puzolánicos reactivos son muy conocidos actualmente, así como sus beneficios en la mejora de gran número de cementos. El presente trabajo tiene la intención de mostrar algunos resultados prácticos, obtenidos de recientes investigaciones de tobas de composición dácítica, capaces de sustituir al cemento pórtland de alta resistencia inicial en morteros y hormigones. Los contenidos apreciables en sílice y en alúmina, los bajos contenidos en sulfato y materias orgánicas, y una molienda adecuada, entre otros, son las causas, al parecer, de la eficacia de este material a la hora de aportar valores apreciables de resistencias mecánicas a edades cercanas y superiores a los 28 días.

Palabras clave: tobas dácíticas, cemento pórtland, morteros, hormigones, resistencias mecánicas

ABSTRACT:

The pozzuolanic materials are very known nowadays, as well as his benefits in the improvement of great number of cements. The present paper shows some practical results obtained of recent investigations of dacitic tuffs, which are capable of substituting the portland cement of high initial resistance in mortars and concretes. Both, the valuable contents in silica-alumina and the low sulphate-organic materials levels, as well as the correct crushing, are the reasons of the efficiency of this material, with the contribution of mechanical resistances in close and higher ages than twenty eight days.

Key words: dacitic tuffs, portland cement, mortar, concrete, mechanic resistance.

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN ESPAÑA (PANORAMA 2010)

Calvo Pérez, B. (1). Regueiro y González-Barros, M. (2).

1E.T.S. Ingenieros de Minas. Universidad Politécnica de Madrid
2.- Instituto Geológico y Minero de España. Madrid

RESUMEN

El presente trabajo es una revisión de algunos de los principales materiales de construcción de España durante los últimos años. Se aprecian en los datos aportados los efectos de la crisis económica y financiera que ha sufrido España y el resto de Europa desde mediados de 2009, y se establecen algunas previsiones sobre la posible recuperación de la demanda para los próximos años. Se destaca que, a pesar de la considerable reducción en producción y consumo de la mayor parte de los materiales estudiados, España sigue siendo un productor importante, al menos en el ámbito europeo, de materias primas para la construcción. Por último, se hacen unas breves consideraciones sobre la situación actual y perspectivas de futuro de minerales industriales que, si bien no tienen sus principales mercados en la construcción, encuentran algunas de sus aplicaciones en dicho sector industrial, como, por ejemplo, arenas para vidrio, caolín para cerámica, carbonato cálcico, etc.



EFFECTOS SOBRE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LA ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN EL CEMENTO PORTLAND

Jorge Iván Tobón¹, Oscar Jaime Restrepo² y Jordi Payá³

*Grupo del Cemento y Materiales de Construcción. Universidad Nacional de Colombia – Medellín.
Carrera 80 # 65 -210 Facultad de Minas Bloque M1 – 415. E-Mail: jitobon@unal.edu.co*

*Grupo del Cemento y Materiales de Construcción. Universidad Nacional de Colombia – Medellín.
Carrera 65 * Calle 64 Autopista Norte. Bloque 54 Cimex. E-Mail: ojrestre@unal.edu.co*

*Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH) – Universidad Politécnica de Valencia
Departamento de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de Ingeniería Civil, Edificio Caminos 2.
Camino de Vera s/n E-46071 Valencia (España). E-mail: jjpaya@cst.upv.es*

RESUMEN

En este artículo se evalúan el desarrollo de la resistencia a compresión, hasta los 28 días de curado normal, sobre morteros de cemento portland Tipo III colombiano reemplazado con nanosílice comercial en suspensión en porcentajes en peso de 1, 3, 5, 10, 12 y 15%.

La nanosílice y el cemento utilizados fueron caracterizados de manera individual químicamente mediante fluorescencia de rayos X (FRX), mineralógicamente mediante Difracción de Rayos X (DRX) y físicamente determinando su distribución de tamaño de partícula, área superficial específica y su potencial Z. Se elaboraron morteros con relación a/mc constante de 0,55 y se adicionó superplastificante para garantizar la fluidez de las mezclas.

Los resultados muestran que la nanosílice a partir de 5% de sustitución empieza a tener influencia positiva sobre la resistencia mecánica de los morteros. Los mejores resultados se obtuvieron con el 10 % de sustitución, valor con el cual se encuentran mejorías del 120% con respecto a la resistencia de la muestra control para un día de curado, para tiempos mayores de curado esta mejoría decrece levemente pero se mantiene alrededor de un 80% por encima de los valores encontrados para la muestra control. Con 12% y 15% de sustitución de cemento por nanosílice las resistencias a la compresión aunque se mantienen por encima de los valores obtenidos para la muestra control decaen con respecto a la resistencia de la muestra con 10% de sustitución. Mostrando en este caso que el porcentaje óptimo de sustitución de cemento por nanosílice es del orden de 10%.

PALABRAS CLAVE: Nanosílice, cementos adicionados, resistencia a la compresión.

LA CONSTRUCCIÓN EN EL ANTIGUO PERÚ CONSTRUCTION IN THE ANCIENT PERÚ

Juan Luis Bouso Aragonés (1)

Eral Perú. Jr. Pablo Bermúdez, 150. Of. 6A. Lima 1. Perú. E-mail: jlbouso@eralgroup.com

RESUMEN

Visión general de las construcciones en el antiguo Perú. Sus particularidades, dependiendo de la geografía donde se localizan, y las diferentes culturas que las crearon. Una diversidad única originada por sus tres regiones Costa, Sierra y Selva.

General view of construction in ancient Peru. Its features related to different locations where built and cultures involved. A unique diversity originated by the three Peruvian regions peculiarities, Coast, Mountain and Forest.



VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE LA DEPURACIÓN DEL CARBÓN MINERAL. ANÁLISIS PARA SU USO COMO ADICIONES MINERALES PARA EL CEMENTO.

Loreley Beltramini, Maria Fernanda Carrasco, Rudy Grether, Anabela Guillarducci y Mariano Suarez.

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI). Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Santa Fe. Laviasse 610. Santa Fe. Argentina. E-mail: cecovi_materiales@frsf.utn.edu.ar

RESUMEN

En el presente trabajo se plantea una posibilidad de uso, como adición puzolánica mineral para el cemento, de un residuo generado en grandes cantidades por la actividad minera. De los resultados obtenidos se pudo confirmar que este residuo tratado térmicamente presenta actividad puzolánica.

ABSTRACT

We study the feasibility of use the residues from purification process of mineral coal (estéril), as a pozzolanic mineral admixture for cement. We obtained that the calcined "estéril" has pozzolanic activity and its reactivity depends of calcination and cooling conditions.

Palabras claves: carbón, estériles, adiciones, cemento.

AUMENTO DE LA RESISTENCIA EN HORMIGÓN CON AGREGADOS DE DISTINTO ORIGEN DE MOLIENDA

María Elizabeth Médici(1), Oscar Armando Benegas(1), Oscar Cosme Nocera(1), Rodolfo Omar Uñac(2) y Ana María Vidales(2)

(1) Departamento de Minería, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis e Instituto de Física Aplicada (CONICET), Chacabuco 917, 5700 San Luis, Argentina. mmedici@unsl.edu.ar, obenegas@unsl.edu.ar, onocera@unsl.edu.ar.

(2) Departamento de Física, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis and Instituto de Física Aplicada (CONICET), Ejército de los Andes 950, 5700 San Luis, Argentina. E-mail: runiac@unsl.edu.ar, avidales@unsl.edu.ar.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es correlacionar la resistencia del hormigón con el origen de los agregados presentes en su preparación. En primer lugar se realiza una caracterización física básica de los agregados gruesos y finos. El material se caracteriza por su origen, es decir, si su curva de clasificación es el resultado de la degradación natural (áridos naturales) o de un proceso de molienda (agregados triturados). Se miden la densidad aparente, la densidad real, los factores de forma, la compactación y la dureza y se discuten los resultados obtenidos en función del tamaño y origen de los agregados. A continuación, preparamos varias mezclas con diferentes proporciones de áridos naturales y triturados para ser añadidos a la preparación del hormigón. Se prepararon seis testigos para cada relación y se efectuaron pruebas de compresión uniaxial sobre ellos. Se obtuvo un comportamiento no monótono de la resistencia en función del porcentaje de agregados triturados presentes en el hormigón. Se discute y justifica este comportamiento sobre la base de la caracterización física previa.

ABSTRACT

The aim of this work is to correlate the resistance of concrete with the origin of the aggregates present in its preparation. A basic physical characterization of coarse and fine aggregates is conducted. The material is characterized by its origin, i.e., if its grading curve is the result of natural degradation (natural aggregate) or from a grinding process (crushed aggregates). Apparent and real densities, shape, compactness and hardness are measured and results are discussed as a function of size and origin. Then, we prepare several mixtures using different ratios of natural and crushed aggregates to be added to concrete. Six cores for each ratio were prepared and uniaxial compression tests were performed over them. We obtain a non monotonic behavior for the resistance as a function of the percentage of crushed aggregates present in concrete. We discuss and justify this behavior on the basis of the previous physical characterization.

Palabras clave: hormigón, agregados triturados, resistencia.

SUBPRODUCTOS DE EXPLOTACIÓN DE ARIDOS: BLOQUES CEMENTICIOS ALTERNATIVOS PARA EL HÁBITAT POPULAR EN EL MARCO DE UN MODELO DE GESTIÓN UNIVERSIDAD-EMPRESA.

Cacopardo, Fernando (1), Cusán, María Ines (2), Leggiero Javier (3), Ondartz, Ariel (4), Ruggiero, Mónica(5)

(1)Universidad Nacional de Mar del Plata, Consejo Nacional de Investigaciones científicas y tecnológicas (CONICET), Funes 3350, Mar del Plata, Argentina. E-mail: fcacopar@mdp.edu.ar

(2) Universidad Nacional de Mar del Plata, Funes 3350, Mar del Plata, Argentina. E-mail: manes0000@gmail.com

(3) Canteras Yaraví S. A., Av. F - sin número, 7605. Estación Chapadmalal, Buenos Aires, Argentina, E-mail: leggiero@canterasyaravi.com.ar

(4)Universidad Nacional de Mar del Plata, Funes 3350, Mar del Plata, Argentina. E-mail: arielondartz@yahoo.com.ar

(5) Canteras Yaraví S. A., Av. F - sin número, 7605. Estación Chapadmalal, Buenos Aires, Argentina, E-mail: mtrgeoambiental@canterasyaravi.com.ar

RESUMEN

La indagación sobre aplicabilidad de áridos reciclados y de descarte para la construcción, en una perspectiva ambiental, se instala progresivamente como problemática en los campos académicos de desarrollo tecnológico. Esta ponencia se propone contribuir a la discusión de este campo a partir de la articulación de dos aspectos que se desarrollarán en respectivos apartados.

En primer lugar, investigar las condiciones de viabilidad técnica y productiva, en un marco de tecnologías sociales apropiadas, de áridos subproducto de los procesos de explotación, pertenecientes a las CUARCITAS DE LA FORMACIÓN BALCARCE, para la elaboración de bloques cementicios de construcción.

En segundo lugar, se sitúa este proceso técnico y productivo en una perspectiva de Desarrollo local para espacios de alta vulnerabilidad social.

Se propone un modelo de cogestión interinstitucional a partir de una empresa, Canteras Yaraví, el programa de investigación interdisciplinaria "Hábitat y ciudadanía" de la Universidad Nacional de Mar del Plata y el capital humano y social de los barrios Monte Terrabusi y Alto Camet. Esta propuesta se radica en una ciudad de escala intermedia, Mar del Plata, Argentina.

ABSTRACT

Investigation regarding applicability of recycled and waste aggregates for construction within an environmental scope is setting-in increasingly as an issue in technology development academic fields.

This presentation intends to contribute to this field's discussion through the development of two aspects detailed in their corresponding sections.

Firstly, the presentation intends to assess technical and productive feasibility conditions regarding appropriate social technologies, of residue aggregates obtained from CUARCITA exploitation processes in the BALCARCE FORMATION, for the production of construction cement blocks.

In addition, this technical and productive development is placed in a local development perspective focusing on high social vulnerability areas. An inter-institutional congestion model –arising from a company, CANTERAS YARAVI- is proposed: interdisciplinary investigation program, “Habitat y Ciudadanía” of Universidad Nacional de Mar del Plata and human and social capital of Monte Terrabusi and Alto Camet neighborhoods.

Palabras claves: Reciclados, bloques cementicios, tecnologías apropiadas, hábitat popular, desarrollo.



EL ENFIBRADO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Alfonso J. Morano Rodríguez(1), José Luis Guillén Viñas(2)

(1) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Universidad Politécnica de Madrid. C/ Alenza 4. 28003 Madrid. España. alfonsoj.morano@upm.es. Miembro del Grupo de Investigación: Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria SCI.

(2) guillensanchez@arquinox.es. Miembro del Grupo de Investigación: Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria SCI.

RESUMEN

Algunos materiales tradicionales de construcción se refuerzan con fibras con el fin de obtener ciertas propiedades que mejoren la calidad del producto. Los materiales que se suelen enfibrar son los derivados del cemento y del yeso. Las fibras que se utilizan como refuerzo de este tipo de productos son básicamente cuatro:

Vidrio

Polipropileno

Acero

Basalto

- La fibra de vidrio se emplea en el prefabricado de yeso, aunque hay un tipo muy especial de prefabricado de hormigón conocido como GRC que también incorpora este tipo de fibra, aunque con un tratamiento "anti-alcalino".

La fibra de vidrio permite aumentar considerablemente las resistencias mecánicas de las piezas de yeso (techos, tabiques, molduras, etc.). Este efecto a su vez permite disminuir el espesor de los prefabricados con el consiguiente ahorro de material.

El producto estándar de fibra de vidrio para yeso es el llamado "spray roving". Son bobinas de hilo en las que cada hilo está compuesto por multitud de hebras con un ensimaje. Mediante un dispositivo, la fibra es cortada a una longitud definida y se esparce en la pasta (polvo de yeso con agua) con una dosificación igualmente definida según el tipo de prefabricado. Hay 5 tipos de fibras de vidrio (E, R, D, AR y C) según la composición química del ensimaje. Cada uno se destina a una aplicación concreta. Para el yeso se suele utilizar la fibra E, mientras que para el GRC, la tipo AR.

Aunque la principal aplicación es para el GRC, en el caso de aporte directo de fibra de vidrio AR en hormigón, se consiguen incrementos de resistencia a flexotracción, tenacidad, ductilidad y capacidad portante. Mejora la adherencia del hormigón

proyectado admitiendo mayores espesores de capa, igualmente mejora la durabilidad y el acabado superficial y evita la microfisuración del fraguado.

- La fibra de polipropileno se mezcla con la masa de hormigón con el fin de evitar la fisuración por retracción del hormigón. Las aplicaciones son básicamente dos: Gunitados y Hormigón impreso. La fibra de polipropileno es un tipo de fibra polimérica y su empleo está regulado por la norma UNE 83500-2. Según el proceso de fabricación se clasifican en: Monofilamentos extruidos (Tipo I), Láminas fibriladas (Tipo II) y según el tamaño se clasifican en Macrofibras ($> 0,3$ mm de diámetro) y Microfibras ($> 0,3$ mm de diámetro). Las macrofibras pueden colaborar estructuralmente, con una longitud entre 20 - 60 mm, pero guardando una relación Longitud / Tamaño de árido de 3/1. Las microfibras son las más empleadas, pero no asumen funciones estructurales. Se utilizan para reducir la retracción plástica del hormigón sobre todo en pavimentos y soleras. Las microfibras también se utilizan para mejorar el comportamiento frente al fuego siendo necesario que el número de fibras por kilo sea muy elevado.

El hormigón reforzado con fibra de polipropileno presenta unas propiedades bien definidas: Ligereza, mayor adherencia, incremento de la ductilidad, resistencia a la corrosión y a los ataques químicos, durabilidad, resistencia pasiva al fuego, incremento proporcional a la cantidad de fibra utilizada de la tenacidad, resistencia al impacto y resistencia a la flexión.

- La fibra de acero se aplica de forma similar a la fibra de polipropileno, pero la finalidad es reforzar el hormigón desde el punto de vista estructural, reemplazando al mallazo de acero. Estas fibras deberán ser acordes con la norma UNE 83500-1. Dependiendo del proceso de fabricación se clasifican en: Trefiladas (Tipo I), Cortadas En láminas (Tipo II), Extraídas por raspado en caliente (virutas de acero, Tipo III) e incluso fibras de acero fundidas (Tipo IV). La longitud de la fibra se recomienda que sea como mínimo dos veces el árido de mayor tamaño, aunque es habitual el empleo de longitudes de hasta tres veces el tamaño máximo del árido. En el caso de gunitados el diámetro de la tubería de bombeo exige que la longitud de la fibra sea inferior a 2/3 de diámetro de dicho tubo.

Las fibras de acero pueden presentar diferentes secciones (circular, cuadrada, triangular, plana, etc.). Longitudinalmente pueden ser planas, torsionadas, dobladas con un ángulo fijo, con gancho, etc.

La fibra de acero aporta al hormigón proyectado un aumento de la trabazón con la matriz de cemento, un aumento de la resistencia a tracción, un aumento importante de la tenacidad, un incremento notable de la resistencia a flexión y de la ductilidad. Así mismo evita las fisuraciones durante el proceso de endurecimiento, es resistente a la abrasión, las vibraciones, pero por el contrario no es resistente a la corrosión.

- Hay otro tipo de fibras que se emplean en gunitados de hormigón, siendo el caso más representativo el de la fibra de basalto.

El empleo de las fibras de basalto como refuerzo del hormigón es bastante reciente. Existen pocos antecedentes de su empleo pero se constata su gran potencial gracias a sus excelentes propiedades. El producto más similar dentro de los expuestos sería la fibra de vidrio pero las propiedades de la fibra de basalto son en general superiores. Por ejemplo la fibra de basalto es resistente a los ácidos y presenta un alto módulo de elasticidad, lo que unido a su capacidad de deformación, le aportan una excepcional tenacidad. Al ser resistentes al medio alcalino (como la fibra de vidrio AR) es factible su empleo como refuerzo del hormigón.



ESTUDIO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE ACERO EN EQUIPOS DE TRITURACIÓN DE ÁRIDOS

Dulce Gómez-Limón¹, Adolfo Núñez F², Cristina Téllez³, Irene Gozalo⁴

1,2,3 Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas (Universidad Politécnica de Madrid). Cátedra ANEFA Calle Ríos Rosas 21 (28003 Madrid) dulce.gomezlimon@upm.es

*4Escuela Politécnica Superior de Ávila (Universidad de Salamanca) Calle Santo Tomás S/n 05003 Ávila.
Ireneqs.@usal.es*

RESUMEN:

El consumo de acero en plantas de trituración de áridos tiene una incidencia notable en los costos. La información bibliográfica disponible sobre estos consumos referenciados al Índice de Abrasión (A_i) es exigua, por ello la Cátedra ANEFA ha promovido dos estudios para cuantificar esos consumos:

Un estudio del consumo de acero con datos reales tomados de distintas trituradoras de plantas de tratamiento de áridos abrasivos, gravas silíceas, corneanas y granitos para máquinas de mandíbulas, conos e impactores horizontales y verticales, cifrando el desgaste en g/t triturada para diversas máquinas y rocas. Esta información, aunque sea de valores puntuales, es de gran utilidad para aplicar los resultados a máquinas trabajando en condiciones similares a las estudiadas pero no es extrapolable a otras situaciones ya que no se pudo obtener una relación entre el desgaste en g/t y el consumo de energía eléctrica en kWh.

Continuando esta línea de investigación se ha realizado otro estudio, utilizando un programa de SANDVIK, con lo que se han evaluado, para un tipo de roca ($A_i = 0,5$), los consumos de acero en gramos por kWh o por tonelada de árido producido, para trituradoras de mandíbulas e hidroconos obteniendo para cada caso un número suficiente de resultados que ha permitido plasmarlos en curvas, en lugar de valores puntuales, que relacionan el Índice de abrasión con el desgaste de metal tanto en g/t triturada como en g/kWh, información que es de mayor aplicación práctica.

Finalmente se ha tratado de cotejar o relacionar, los resultados de ambos estudios.

Palabras clave: desgaste, aceros, trituración, áridos, abrasividad, Índice de Abrasión (A_{ii})

NECESIDAD DE LAVADO DE ARENAS DE TRITURACIÓN BAJO CONDICIONES EXTREMAS POR EXIGENCIAS MEDIOAMBIENTALES Y FALTA DE DISPONIBILIDAD DE AGUA. INSTALACIÓN DE PLANTA ERAL CON ALTO RECUPERO DE AGUA EN EL PROCESO DE LAVADO, OBTENCIÓN DE ARENAS TRITURACIÓN LAVADAS Y FILLER GRANÍTICO DE ALTA CALIDAD.

Patrón Costas Enrique (1), José Alfredo Pizone (2), Ing Jorge D. Fontana (3), Gabriel Gunther (4)

Gerente General CANTERA PIATTI, Olavarría, Buenos Aires - Argentina

Vicepresidente CANTERA PIATTI y Presidente FEDERACION ARGENTINA de la Piedra, Olavarría, Buenos Aires - Argentina

Director CANTERA PIATTI, Olavarría, Buenos Aires - Argentina

Jefe de Operaciones CANTERA PIATTI, Olavarría, Buenos Aires - Argentina

ABSTRACT

Washing crushing sands requirements under extreme conditions due to environmental regulations and water unavailability. ERAL plant construction with high recovery of water in washing process, getting crushing sands washed and high quality granite filler.

ARCILLAS FERRUGINOSAS EN LAS SIERRAS SEPTENTRIONALES DE BUENOS AIRES, ARGENTINA. SU APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL.

Ricardo Etcheverry (1), Marío Tessone (2), Marcelo Caballé (3) y Raúl Fernández (4)

Instituto de Recursos Minerales (UNLP) – CONICET. Calle 64 n° 3. La Plata. Argentina. Email: retche@inremi.unlp.edu.ar

Instituto de Recursos Minerales (UNLP). Calle 64 n° 3. La Plata. Argentina. Email: mtessone@inremi.unlp.edu.ar

FCNyM, UNLP. Calle 64 n° 3. La Plata. Argentina. Email: mfcaballe@yahoo.com.ar

Instituto de Recursos Minerales (UNLP - CICBA). Calle 64 n° 3. La Plata Argentina. Email: rfernand@inremi.unlp.edu.ar

RESUMEN

Se analizan yacimientos, características y aplicaciones industriales de arcillas ferruginosas (45% promedio de Fe_2O_3). Al consumo en la fabricación de cemento portland (materiales ferrosos 1%, arcillas 2,2%), se agrega la potencialidad en la elaboración de pigmentos para pinturas.

PRODUÇÃO DE BLOCOS COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE SERRAGEM DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Washington Almeida Moura⁽¹⁾, Monica Batista Leite⁽¹⁾

(1) Departamento de Tecnologia. Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental/UEFS. Av. Transnordestina, s/n – Módulo 3. Feira de Santana. Brasil. Email: washington.moura@gmail.com, mleite.uefs@gmail.com

RESUMO

O Brasil é o quinto maior produtor de rochas ornamentais no mundo. Os Estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia e Ceará são os maiores produtores, gerando, conseqüentemente, cerca de 800.000t/ano de resíduo no beneficiamento das rochas. A inserção desse resíduo na cadeia produtiva seria de grande importância para o setor. Atualmente, o resíduo vem sendo depositado no pátio das empresas e até em áreas sub-locadas, o que implica em elevados custos. Nesse trabalho, avalia-se a possibilidade de utilização do resíduo de serragem de rochas ornamentais (RSRO), mármore e granito, para produção de blocos pré-moldados para habitação de interesse social. Esse é um estudo que está sendo desenvolvido em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo, com apoio do da FINEP e do Centro Tecnológico do Mármore e Granito (CETEMAG). O estudo consiste em caracterizar o resíduo e produzir blocos pré-moldados, substituindo o cimento por RSRO. Os teores de substituição são 5%, 10% e 15%. As peças produzidas foram avaliadas quanto à resistência à compressão. Foram produzidos blocos de alvenaria de vedação de (9x19x39) cm. Os resultados de ensaios de risco ambiental classificam o RSRO como Classe III – Inerte. Os blocos produzidos com RSRO e ensaiados para determinação da resistência à compressão apresentaram bom desempenho, para alguns teores de substituição do cimento. Viabilização da utilização do resíduo de rochas ornamentais como substituição parcial do cimento.

Palavras-chave:

Blocos pré-moldados, resíduo de serragem de rochas ornamentais, aproveitamento de resíduos.

ABSTRACT

Worldwide, Brazil is the fifth producer of natural dimension stone industry. The states of Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia and Ceará are the major producers in Brazil. As well, they generate nearly 800.000 tons/year of dimension stone sawing residue (DSSR). The incorporation of this kind of residue in other industrial activities as a by-product is of great value to the dimension stone industry. In nowadays, the DSSR is disposed at land industries, or at rent areas. This solution makes production costs arise. This paper deals with the utilization of DSSR, marble plus granite, to pre-cast block social dwelling interest. This study is developed by Stated University of Feira de Santana and Federal University of Espírito Santo. It has a financial suport from FINEP, CNPq, and Technological Center of Marble and Granite (CETEMAG).

The aim of this study is to to characterize the DSSR and to produce pre-cast blocks, using 5%, 10% and 15% of cement replacement by DSSR. The precast blocks were evaluated from compressive strength, at 7 and 28 days age. The results showed that DSSR is a low environmental risk residue, it is inert. The precast blocks made with DSSR achieved good performance to some substitution rate of cement. Viabilization of the use of dimension stone sawing residue as mineral admixture to Portland Cement substitution.

Key-words

Precast blocks, dimension stone sawing residuo (DSSR), residue utilization.



CÁTEDRA EMPRESA ANEFA DE TECNOLOGÍA DE ÁRIDOS. ACTIVIDADES REALIZADAS

Dulce Gómez-Limón Galindo⁽¹⁾, Adolfo Núñez Fernández⁽²⁾

⁽¹⁾ Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid. Calle Ríos Rosas, 21.28003 Madrid. España. E-mail: dulce.gomezlimon@upm.es.

⁽²⁾ Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid. Calle Ríos Rosas, 21.28003 Madrid. España. E-mail: adolfo.nunez.fernandez@upm.es.

RESUMEN

La Cátedra ANEFA de Tecnología de Áridos, es una de las Cátedras Universidad-Empresa de la E.T.S de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), cuya creación pretendía potenciar la relación entre Universidad-Empresa. Ésta Cátedra se creó en el año 2001, y está patrocinada por ANEFA (Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos).

Desde su creación se han realizado numerosas actividades, fundamentalmente de formación en materias del sector de los áridos tanto a los alumnos de los últimos cursos de la Escuela de Minas, como a alumnos de postgrado que quieran una actualización de conocimientos, incorporando los últimos avances tecnológicos. Esta última formación se realiza de forma semipresencial, empleando una plataforma de Internet de la UPM para seguimiento de la enseñanza no presencial.

También se han realizado cursos y jornadas de uno o dos días de duración, en temáticas de actualidad e interés para los profesionales y empresarios del sector. Así como impartición de conferencias en diferentes foros universitarios, profesionales o escolares.

ABSTRACT

The ANEFA Chair of Technology of arid, it is one of the University-Company Chairs of the School of Mines of the Polytechnical University of Madrid. It was created in the year 2001 to promote the relationship between University-Company. This Chair is supported by ANEFA.

From his creation have been realized a lot of activities, training of students of the last courses of mining engineer and postdegree that want to increase the knowledge of the matter, incorporating the last technological advances. This postdegree training is realized of form b-learning, using an internet support of the UPM, that allows the follow-up of the training not presencial.

Also others short courses have been realized, in subject of current and interest for the professionals of the sector of the arid.

DEPOSICIÓN FINAL Y USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE LA FUTURA CENTRAL TÉRMICA 240 MW DE RIO TURBIO (ARGENTINA)

Alberto Ramos Millán⁽¹⁾, Carolina Sánchez Pajas⁽²⁾

(1) Departamento de Sistemas Energéticos, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas Universidad Politécnica de Madrid. Calle Ríos Rosas, 21. España. E-mail: alberto.ramos@upm.es

(2) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas Universidad Politécnica de Madrid. Calle Ríos Rosas, 21. Madrid. España. E-mail: carolina.sanchez@dse.upm.es

RESUMEN

El propósito del estudio del cual se deriva este trabajo ha consistido en definir las posibilidades de utilización de las cenizas del carbón procedentes del yacimiento carbonífero situado en Río Turbio, Provincia de Santa Cruz (Argentina). En dicho yacimiento existen unas reservas totales probadas de 450 Mt las cuales abastecerán a la futura central eléctrica de carbón en lecho fluido de 240 MWe que se está instalando actualmente en la citada zona. El consumo anual previsto de la planta será de 1,2 Mt de carbón bruto, constatando, tras los estudios realizados, que se generarán 437.160 t de cenizas de las cuales el 55% serán cenizas volantes.

Inicialmente ha sido necesaria la caracterización del material mediante análisis en laboratorio con el fin de determinar el contenido en cenizas, contenido en cloro, composición elemental, densidad aparente, humedad y análisis de compuestos oxigenados y metales en las cenizas. A la vista de los resultados obtenidos se determinan dos posibles soluciones para el aprovechamiento del material procedente de la central. El primero sería el uso de las cenizas para la fabricación de cemento, tanto para construcción como para asfaltos. La segunda propuesta sería el diseño de una escombrera para su almacenamiento en caso de no emplearse dichas cenizas en la fabricación de materiales de construcción.

Palabras clave: cenizas volantes, fabricación de cemento, escombrera.

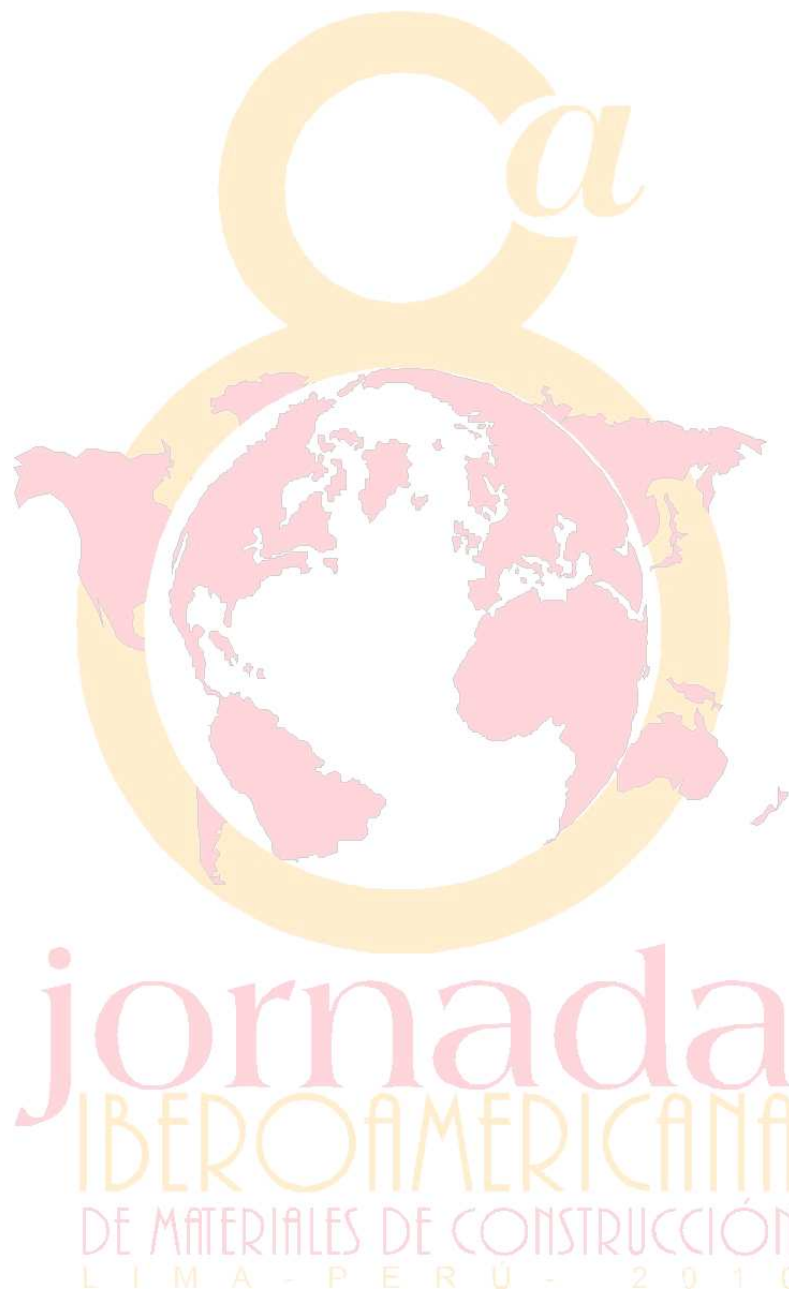
ABSTRACT

The main objective of the associated research was to define the potential uses of coal ash from the coal mine located in Río Turbio, Santa Cruz (Argentina). In this coal mine there are a total proven reserves of 450 Mt of which cater to the future coal-fired power plant of 240 Mwe which uses a combustion technology called Fluidized bed combustion (FBC) that is currently installed in that area. The estimated annual consumption of the plant will be 1.2 Mt of raw coal, noting, after the studies, which will generate 437 160 tonnes of ash of which 55% will be fly ash.

Initially it has been necessary to characterize the material through laboratory analysis to determine the ash content, chlorine content, elemental composition, bulk density,

moisture and oxygen compounds and analysis of metals in the ashes. The results show that we can define two possible solutions for the use of material from the plant. The first would be the use of ash for cement manufacture, both for construction and for asphalt. The second proposal would be the design of a tip for storage should not use the ash in the manufacture of building materials.

Keywords: fly ash, cement manufacture, tip.



PRUEBAS DE INFORMACION DE UNA DOSIFICACION DE HORMIGON PARA EJECUTAR UNA OBRA HIDROTECNICA.

Ing. Ignacio Sinconeui Núñez⁽¹⁾, Téc. Sandra Llorca Sánchez⁽²⁾

(1)Administración Portuaria Nacional. Ministerio del Transporte. Calle de los Oficios No. 170, La Habana Vieja. Cuba. E-mail: ignacio@apn.transnet.cu.

(2)Empresa Constructora de Obras Marítimas. Ministerio de la Construcción. Anillo del Puerto y Línea del FFCC, Regla, La Habana. Cuba. E-mail: construcciones@eomarit.com.cu.

RESUMEN

En este trabajo se realiza un estudio de los parámetros reológicos fundamentales de una mezcla de hormigón en estado fresco y en estado endurecido, con el propósito de ejecutar con esta dosificación una obra hidrotécnica, ubicada a gran distancia de la planta de hormigón que elabora y suministra el mismo. El muestreo para realizar los ensayos físico-mecánicos (a escala de laboratorio), tienen lugar en condiciones tecnológicas concretas de elaboración del hormigón y corresponde a una única prueba industrial. En la matriz de hormigón se emplearon dos tipos de aditivos químicos, un aditivo retardador de fraguado y reductor de agua de alto rango, compuesto de sustancias surfactantes y tensoactivas de elevada masa molecular, y otro aditivo reductor de la permeabilidad con efecto hidrofugante, obturador de poros y capilares, sin influencia en los tiempos de fraguado y con características cohesionantes.

Palabras claves: impermeabilidad, diseño, segregación, acomodo.

ABSTRACT

In this work we make a study of the fundamental rheological parameters of a mixture of concrete in fresh and hardened state, in order to run a marítima construction with this concrete mixer, this place located far away from the batching- plant that produces and supplies concretes. Sampling for physical and mechanical test (laboratory scale), take place in specific technological conditions of preparation of concrete and corresponds to a single industrial test. In concrete matrix used two types of chemical additives, an additive setting retarder and water-reducing high grade, consisting of surfactants and surface-active substances of high molecular weight, and a permeability reducing admixture repellent effect, shutter pores and capillaries, without any influence on setting times and cohesive characteristics.

Keywords: waterproofing, design, segregation, retempering.

PROGRESO DE FISURAS PRIMARIAS EN PILOTES DE HORMIGON ARMADO

Ing. Ignacio Sinconeui Núñez⁽¹⁾, Téc. Sandra LLorca Sánchez⁽²⁾

(1)Administración Portuaria Nacional. Ministerio del Transporte. Calle de los Oficios No. 170, La Habana Vieja. Cuba. E-mail: ignacio@apn.transnet.cu.

(2)Empresa Constructora de Obras Marítimas. Ministerio de la Construcción. Anillo del Puerto y Línea del FFCC, Regla, La Habana. Cuba. E-mail: construcciones@eomarit.com.cu.

RESUMEN

Este trabajo describe la morfología de la fisuración que ocurre en pilotes prefabricados de hormigón armado, que después de hormigonado no reciben un tratamiento de curado adecuado según dictan las normativas internacionales vigentes. Del mismo modo, refleja mediante imágenes secuenciales el progreso y desarrollo ramificado de las fisuras en la superficie expuestas a la intemperie (viento y sol) en pilotes de sección transversal cuadrada.

Palabras claves: tensiones, cloruros, corrosión.

ABSTRACT

This paper describes the morphology of cracking that occurs in precast reinforced concrete piles, which after been concreting do not receive an appropriate curing treatment as dictated by current international standards. Similarly, sequential images shown the progress and development branched cracks in the surface exposed to the elements (wind and sun) in piles of square cross section.

Keywords: stress, chlorides, corrosion.

EMPLEO DE MICRO-HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES EXPANSORES PARA EL REFUERZO DE PILARES DAÑADOS

David Revuelta Crespo⁽¹⁾, Pedro Carballosa de Miguel⁽²⁾, José Pedro Gutiérrez Jiménez⁽³⁾, Luis Fernández Luco⁽⁴⁾

(1) Laboratorio Oficial para Ensayo de Materiales de Construcción – LOEMCO. Calle Alenza, 1. 28003 – Madrid. España. E-mail: drevuelta@loemco.com. (2) Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja – CSIC. Calle Serrano Galvache, 4. 28033 – Madrid. España. E-mail: carballosa@ietcc.csic.es. (3) Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja – CSIC. Calle Serrano Galvache, 4. 28033 – Madrid. España. E-mail: jpgutierrz@ietcc.csic.es. (4) Departamento de Estabilidad, Facultad de Ingeniería – Universidad de Buenos Aires. Av. Las Heras 2214 - 1º Piso. C1127AAR - Buenos Aires. Argentina. E-mail: estabil@fi.uba.ar

RESUMEN

En este trabajo muestra la posibilidad de empleo de una técnica de refuerzo de pilares de hormigón mediante la utilización de un encamisado exterior adecuadamente reforzado y el empleo de un micro-hormigón fluido de relleno colado entre la columna a reforzar y el encofrado. El diseño de este hormigón se realiza con retracción compensada, determinando la dosis de aditivo expansor requerida para alcanzar una expansión igual o ligeramente superior que la retracción prevista del micro-hormigón. De esta forma el refuerzo es más eficaz ya que entra en carga con el propio sistema de ejecución, sin necesidad de una compresión adicional exterior que solicite el pilar. La característica de autocompactabilidad del micro-hormigón de relleno permite asegurar el correcto llenado del encofrado de refuerzo, operación que siempre es difícil de realizar con los hormigones y morteros tradicionales. Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación de España, a través del proyecto de referencia BIA2007-62464, a través de la convocatoria de Ayudas a Proyectos de I+D 2007. Así mismo, los autores del trabajo agradecen la colaboración de la empresa SIKA, S.A.U., por los medios materiales y humanos puestos a disposición del mismo.

ABSTRACT

This paper shows the possibility of using reinforcement techniques for concrete columns by means of external reinforcement casings and the use of a highly fluid concrete as filling for the casing-column space. This concrete may be designed as shrinkage-compensated concrete, reaching a final expansion to compensate the natural expected shrinkage of the concrete. Thus, the reinforcement is far more effective since it is loaded just from the beginning of the work. The self-compactability of the concrete ensures the correct filling of the gap between the column and the reinforcement casing. This work was possible thanks to the funding of the Ministry of Science and Innovation of Spain, project ref. BIA2007-62464, and to the collaboration of SIKA S.A.U.

PALABRAS CLAVE: Refuerzo de pilares, confinamiento, hormigón de retracción compensada, hormigón autocompactante.

TRABAJOS AMPLIADOS

jornada
IBEROAMERICANA
DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
L I M A - P E R Ú - 2 0 1 0

INDICE DE TRABAJOS AMPLIADOS

TÍTULO	AUTOR/ES	PÁGINA
APLICACIÓN DE HORMIGON MASIVO EN LA RECONSTRUCCION DE LA CARRETERA PUERTO INCA – MOLLETURO - CUENCA EN LA REPUBLICA DEL ECUADOR	Gastón Proaño Cadena Ricardo Gallegos Orta	44
DEPOSICIÓN FINAL Y USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE LA FUTURA CENTRAL TÉRMICA 240 MW DE RIO TURBIO (ARGENTINA)	Alberto Ramos Millán, Carolina Sánchez Pajas	54
CÁTEDRA EMPRESA ANEFA DE TECNOLOGÍA DE ÁRIDOS. ACTIVIDADES REALIZADAS	Dulce Gómez-Limón Galindo, Adolfo Núñez Fernández	71
ESTUDIO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE ACERO EN EQUIPOS DE TRITURACIÓN DE ÁRIDOS.	Dulce Gómez-Limón), Adolfo Núñez F. Cristina Téllez, Irene Gozalo.	83
ARIDOS DE EXPLOTACION PRIMARIA DE LA FORMACIÓN BALCARCE: BLOQUES CEMENTICIOS ALTERNATIVOS PARA EL HÁBITAT POPULAR EN EL MARCO DE UN MODELO DE GESTIÓN UNIVERSIDAD-EMPRESA.	Fernando Cacopardo, María Inés Cusán, Javier Leggiero, Ariel Ondartz y Mónica Ruggiero	105
NIVELES DE ARCILLAS FERRUGINOSAS EN LAS SIERRAS SEPTENTRIONALES DE BUENOS AIRES, ARGENTINA. SU APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL.	Ricardo Etcheverry, Marío Tessone, Marcelo Caballé y Raúl Fernández	128
CRITERIOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE TOBAS DÁCITICAS EN LA SUSTITUCIÓN DE CEMENTO PÓRTLAND EN MORTEROS Y HORMIGONES.	Costafreda, J.L., Calvo, B. y Parra, J.L.	135
LA CONSTRUCCIÓN EN EL ANTIGUO PERÚ. CONSTRUCTION IN THE ANCIENT PERU	Juan Luis Bouso Aragonés María Elizabeth Médici,	148
AUMENTO DE LA RESISTENCIA EN HORMIGÓN CON AGREGADOS DE DISTINTO ORIGEN DE MOLIENDA	Oscar Armando Benegas, Oscar Cosme Nocera, Rodolfo Omar Uñac y Ana María Vidales	193
EL ENFIBRADO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Alfonso J. Moraño Rodríguez, José Luis Guillén Viñas	208
HORMIGÓN CON INCORPORACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS	Gustavo Luis Bolla, Patricia Viviana López, Susana Rosa Facendini	225
EMPLEO DE MICRO-HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES EXPANSORES PARA EL REFUERZO DE PILARES DAÑADOS	David Revuelta, Pedro Carballosa, José Pedro Gutiérrez, Luis Fernández Luco	234

APLICACIÓN DE HORMIGON MASIVO EN LA RECONSTRUCCION DE LA CARRETERA PUERTO INCA –MOLLETURO - CUENCA EN LA REPUBLICA DEL ECUADOR

Gastón Proaño Cadena (1); Ricardo Gallegos Orta(2).

(1)Escuela Superior Politécnica del Litoral. Prosperina Km. 30.5 vía Perimetral. Guayaquil. Ecuador.
E-mail: gproano@espol.edu.ec

(2)Escuela Superior Politécnica del Litoral Prosperina Km. 30.5 vía Perimetral. Guayaquil. Ecuador.
Email: vgallegos@espol.edu.ec

RESUMEN

La carretera Puerto Inca – Molleturo – Cuenca, es una de las vías más grandes para el enlace entre las ciudades de Guayaquil y Cuenca. A esta vía tiene acceso directo el tráfico que viene del sector suroeste del país. El trazado de la carretera interviene formaciones geológicas de origen volcano-sedimentarias y rocas intrusivas de tipo granito, estando todas ellas muy alteradas y tectonizadas.

Durante los últimos 20 años la superficie de rodadura de la carretera estaba conformada por carpeta asfáltica que cada año requería reparación y una necesaria sustitución. Las características de los materiales que conformaban la capa de rodadura y las condiciones del clima, favorecían al proceso de deterioro de la carpeta asfáltica.

El actual Gobierno del Ecuador para dar una solución que garantice el tráfico de forma ininterrumpida y evitar los costos de reparación anual de esta importante vía, decidió construir la carretera con la colocación de una carpeta de hormigón masivo.

El estudio de los materiales utilizados en la fabricación del hormigón masivo como los agregados de río, tipo de cemento, calidad del agua y control de la temperatura de fraguado, es el tema central de este trabajo. El estudio de los materiales que participan en la mezcla del hormigón masivo, colocación, pruebas de campo, ensayos de laboratorio y trabajabilidad del mismo, es la contribución del presente artículo.

ABSTRACT

The Puerto Inca - Molleturo - Cuenca is one of the greatest ways for the link between the cities Guayaquil and Cuenca. This accessed via the traffic that comes from the southwest sector. In the course of the wings involved road type formations volcano-sedimentary and granite-type intrusive rocks that are very emotional.

Over the past 20 years the rolling surface of the road consisted of asphalt each year and necessary repairs required replacement, the characteristics of the materials that make up the pavement and weather conditions contribute to the process of deterioration in the folder asphalt. The Government of Ecuador to a solution that ensures uninterrupted traffic and avoid the costs of repairing this important road, decided to build the road with the placement of a rigid pavement folder.

The experience of the use of the materials involved in the mix of rigid pavement, placement, field tests, laboratory tests and workability of it is part of this article.

The materials used in the mixture corresponds to the river sand, river gravel aggregates, Portland cement type, water quality and temperature controlled setting is the central theme of the presentation. Currently the road is operational and in the first year after construction to monitor the behaviour is continuous.

1.- INTRODUCCIÓN

El hormigón masivo es definido por la norma ACI 207.1R como: "cualquier volumen de hormigón con dimensiones lo suficientemente grandes como para exigir que se adopten medidas para hacer frente a la generación de calor de hidratación del cemento y el consecuente cambio de volumen para reducir al mínimo las grietas". Esta definición no provee una medida específica y muchos autores han desarrollado sus definiciones de hormigón masivo. Por ejemplo, el hormigón masivo está definido por algunas entidades como "cualquier elemento de hormigón que posea una arista mínima mayor a 3 ft (0.9 m)". Otras agencias usan dimensiones mínimas diferentes, partiendo de 1.5 a 6.5 ft, dependiendo de las experiencias previas (0.46 para 2.0 m).

El Hormigón Masivo ha sido ampliamente utilizado en la construcción de presas, es aquí en donde se identifica por primera vez la relación agrietamiento-temperatura. Esta relación también se ha experimentado en otras secciones en estructuras de hormigón que incluye, cimentaciones, pilotes, pilas de puentes, muros, y diversas estructuras más.

Las propiedades principales del Hormigón Masivo son: durabilidad, economía, acciones térmicas, quedando en segundo lugar la resistencia a la compresión. Altas resistencia a la compresión usualmente no son requeridas en los Hormigones Masivos (existen excepciones). La característica que distingue al Hormigón Masivo de otro tipo de hormigón es el comportamiento térmico. La reacción agua-cemento es exotérmica por naturaleza, la temperatura se eleva en el interior del hormigón donde la disipación de temperatura es lenta lo que provoca un aumento de temperatura considerable. Importantes fuerzas de tensión y esfuerzos pueden desarrollarse asociado a un cambio volumétrico dependiente del incremento o disminución de temperatura en la masa de hormigón.

Las medidas de prevención deben ser tomadas donde el agrietamiento debido al comportamiento térmico puede causar pérdida de la integridad estructural y acción monolítica, o puede causar excesiva infiltraciones y acortamiento de la vida útil de la estructura, o puede ser estéticamente inadmisibles.

2.- MATERIALES Y METODOS

Datos Generales de la Obra:

FOPECA S.A. Es la compañía constructora responsable de la colocación del Hormigón Masivo en la vía Puerto Inca –Molleturo– Cuenca. Contrato que tiene un monto de 54'713.256,52 de dólares americanos. La fiscalización de esta obra está a cargo de la empresa Trazados.

La longitud total de pavimentación con Hormigón Masivo es de 111.92 Kilómetros que comunica a Cuenca con Guayaquil, desde el tramo comprendido entre la Y de Sayausí, kilómetro siete, hasta el Empalme con la vía Guayaquil – Machala, en el sector de Puerto Inca.

Para la ejecución de las actividades se han establecido 4 frentes de trabajo con 3 plantas de hormigón, una en Sayausí, la segunda en Hierba Buena y la tercera en Tamarindo. También, se cuenta con una planta de trituración a la altura del río Norcay, en la parte costanera.

La compañía cuenta con el equipo de trabajo que consta de 14 vehículos mezcladores y transportadores de hormigón, 2 tractores, 2 excavadoras, 2 cargadoras, rodillos vibratorios, mini cargadoras, moto niveladoras, un laboratorio para control de calidad Fopeca, otro de la fiscalización y un tercero de la Subsecretaría Regional. Los frentes de trabajo se encuentran en los kilómetros 8, 26, 62, 82 y 105. Distribuidos estratégicamente para satisfacer correctamente la operatividad de la obra.

Datos Técnicos de la Obra

Esta vía está diseñada para la colocación de pavimento masivo de un espesor de 20 cm en toda su Longitud, la resistencia a la flexión es de 350 kg/cm² y cuenta con tecnología de punta en la colocación del Hormigón Masivo mediante una pavimentadora. Tiene un ancho de 13,60 conformada por dos carriles, en cada carril tiene paños de 3,80m x 4,50m y de 3,00m x 4,50m colocados paralelamente, estas secciones son iguales al carril adyacente.

La rehabilitación de esta vía aprovechar la estructura existente de asfalto dándole un tratamiento especial con la utilización de un geotextil NT 1500 humedecido donde se

aíslan las capas de rodadura entre asfalto y hormigón, este proceso que se está usando se denomina whitetopping.

Armadura en el Hormigón Masivo.

La armadura en el Hormigón Masivo va dispuesta en las juntas transversales y longitudinales que están diseñadas por medio de dowles, es decir, son canastillas de hierro que van colocadas de tal manera que coincida su eje neutro con el trazo de la junta transversal del paño de la losa y los diámetros de la armadura de los dowles son de 10-25mm. Uno de los extremos de los pasadores de la varilla de 25 mm va fijado con suelda en la canastilla base y el otro queda libre junto con una capsula de polietileno y grasa para que permita el libre desplazamiento de la dilatación del hormigón una vez que este haya fraguado, los dowles van anclados con clavos de acero para que durante el vaciado del hormigón no se vayan a desplazar y se cometan errores al trazar las juntas. En la fotografía 1 se puede ver la colocación de la armadura de acero.



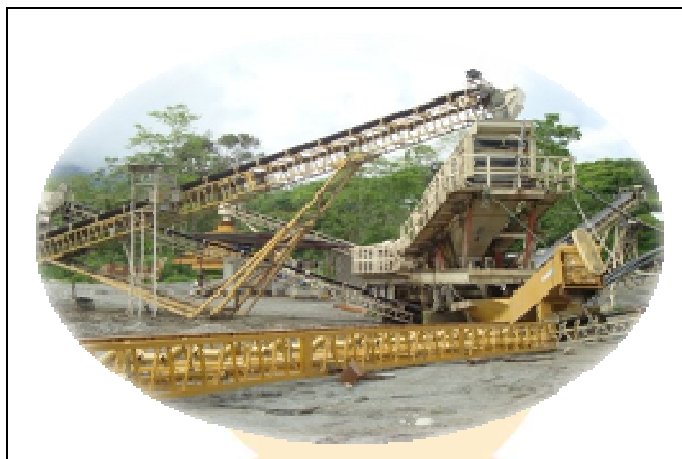
Fotografía 1. Colocación de armadura metálica para soporte del Hormigón Masivo

Los dowles tienen una altura que va desde su base hasta antes de los 6 o 7 cm de la parte superior del espesor de la losa, previniendo así que al momento de realizar el corte de la losa para la junta, el disco de la cortadora eléctrica no los vaya a afectar.

Planta Procesadora de Agregados y del Diseño del Hormigón Rígido.

El diseño del Hormigón Masivo se lo produce en la planta del frente Tamarindo que está ubicada en el kilómetro 118, junto al río Norcay donde se extrae los materiales de origen aluvial. Aquí se explota todo el material de la mina el cual es llevado a un proceso de trituración donde se obtiene el tamaño nominal de 1.5" para el pavimento

hasta tamaños más finos. La arena que se emplea para la confección del hormigón se la obtiene de la mezcla de arena fina traída del río Bulubulo en la Troncal y arena gruesa del río Norcay.



Fotografía 2. Vista de la Planta de trituración y clasificación de los agregados

Este hormigón tiene una resistencia de 350 kg/cm² y las proporciones del agregado son: 62% en triturado grueso, 38% en arena y 380 kg/m³ de cemento, en este diseño el asentamiento ideal es 7cm \pm 2,5 cm (el rango que la fiscalización acepta es hasta 10 cm por arriba entre 7cm que es el rango mayor y por debajo 1,5 cm o 4,5cm que es el mínimo).

Colocación del Hormigón en la Vía.

Al Hormigón Masivo que es colocado en la vía se le toma una prueba de asentamiento verificando que cumpla con las variaciones permisibles dispuestas en las especificaciones técnicas, una vez chequeado el fiscalizador autoriza el tendido del hormigón; y si el hormigón llega a estar muy fluido se envía de regreso el carro a la planta, allí se lo vuelve a dosificar y se le pone un poco mas de cemento, sin variar la relación agua-cemento para obtener el asentamiento deseado, caso contrario si llega muy duro se le lo controla con aditivo en este caso es el 204R en Aditex que es un aditivo retardante y plastificante que le da trabajabilidad al hormigón.

Una vez que llega el hormigón transportado por los mixer este es vaciado en los paños previamente preparados para su fundición (geotextil NT 1500 humedecido, la armadura y encofrado), atreves de un canalón con movimientos que van de derecha a izquierda. Una cuadrilla de obreros con el uso de palas y rastrillos se encarga de complementar el regado de manera uniforme, preparando para el paso de la pavimentadora, esta máquina se encarga de compactar y dar el acabado deseado del pavimento rígido, la terminadora tiene tres rodillos: dos exteriores y uno central (uno de arrastre, uno de corte y uno de alisamiento), junto con un sistema de vibración. En la fotografía 3 se puede apreciar la colocación del hormigón en la vía.



Fotografía 3. Colocación del Hormigón Masivo sobre el geomanto

El sistema de vibración consiste en evitar que se formen los hormigueros así como también, para nivelar el hormigón, sacar el aire y el agua, es decir homogeneizar la mezcla (que toda la mezcla esté unida uniforme), es decir que exista uniformidad bien graduada en el control de la temperatura en los agregados del fundido.



Fotografía 4. Planta pavimentadora utilizada en la colocación del Hormigón Masivo

Este proyecto parte desde los 20m sobre el nivel del mar aproximadamente hasta los 4000m que es la parte más alta del sitio Tres Cruces; dadas estas condiciones se tiene una gradiente térmica con variación muy considerable, por la que existe mucha retracción y contracción, afectando a tal punto que las losas se puedan partir.

Por tal razón se debe controlar la temperatura en el hormigón que no sobrepase los 32° C. puesto que con un exceso este se resecaría rápidamente, acelerando su fraguado y produciéndose agrietamientos que es perjudicial en su resistencia de diseño. La temperatura con la cual se está controlando en planta es variable y está alrededor de los 24°C, 26°C o 27°C, lo recomendable es que se controle cuando una vez tendido o puesto a obra adquiera los 32°C como máximo.

Curado del Hormigón Rígido.

Una vez colocado y nivelado el Hormigón Masivo se realiza el proceso de curado, que es una tecnología conocida como manta térmica, que consiste en colocarle al hormigón, una capa de roseado de curador (aditivo) esta es una película blanca que funciona como un bloqueador solar que logra que el agua de sudación no se evapore demasiado rápido, esta aplicación ayuda mucho a la contracción térmica, luego se cubre el hormigón con geotextil humedecido, se le coloca un plástico y sobre este lleva cubierto otra manta de geotextil, de esta manera se forra la losa y se crea una cámara de curado, este mecanismo ayuda a evitar los efectos de los cambios bruscos de temperatura.



Fotografía 5. Nivelado del Hormigón Masivo y rayado de adherencia

Trazado y Relleno de Juntas.



Fotografía 6. Maquina cortadora de hormigón

Para el trazado de las juntas se emplea una maquina liviana que tiene en su haber un disco de corte de 14" de 5mm de ancho, los cortes que se realizan en el

pavimento son de cada 4.50 m a lo largo de la vía conformando los paños con medidas de 4.50 x 3.80 y 4.5 x 3.00.

El tiempo de corte se calcula exactamente en el momento en que la losa sostiene peso por sí mismo, está calculado entre 6 a 8 horas. La manera práctica para determinar cuando la losa esta lista para ser cortada es cuestión de rutina, el cortador debe saber el momento para realizar el corte estar pendiente y calcular la hora en que llegó el primer carro (mixer), una vez transcurrido este tiempo los cortadores hunden el dedo en el hormigón y deducen la dureza del mismo, y si soporta el peso ellos empiezan a cortar, pero si se empieza a despostillar ellos no proceden y esperan el momento adecuado.

En el relleno de las juntas se coloca un sellante polilon (cordón sintético) y luego lleva un producto sellaflex, es para evitar el ingreso de agua, arena, u otros materiales que perjudiquen la correcta función de la junta.



Fotografía 7. Maquina cortadora de hormigón

3. ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Presencia y Reparación de Fisuras en la Vía.

Por lo general en todo pavimento rígido existe la posibilidad de la presencia de fisuras cuando no se ha tomado todas las recomendaciones de trabajabilidad y la aplicación íntegra de las especificaciones técnicas del diseño. La aparición de las fisuras en el sentido transversal en la vía se da por varios casos:

Cuando el hormigón viene con diferentes tipos de asentamientos, ejemplo (el primer vehículo viene con un hormigón de asentamiento de 10 cm y el próximo viene con un asentamiento 5 o 4, la parte del paño que tiene 5 o 4 va a fraguar más rápido) este cambio de temperatura que hay entre un hormigón y otro va a partir la losa.

El otro caso se da por corte tardío, quiere decir que los cortadores no calcularon a tiempo el momento en que empezó a fraguar el hormigón, puesto que la placa y la losa ya empezó a trabajar con anterioridad y al momento de realizar el corte esta se parte, debido a esto entonces se les dice que corten saltando un paño.

En el caso de aparición de fisuras se procede a reparar abriendo o cortando 50 cm de cada lado de la fisura, y posteriormente se pone un metro de Hormigón Masivo debidamente compactado. Si se tiene la presencia de fisuras en el sentido longitudinal se lo puede reparar con un sellante si la fisura no es de mayor consideración, si es pronunciada allí si toca sacar todo el paño completo debido a que estas son perjudiciales dado que el problema viene desde abajo, y una reparación no sería la más conveniente.

Control de Evacuación de Aguas Lluvias.

La vía está diseñada con obras de arte complementarias tales como la construcción de bordillos que sirve para la conducción y evacuación de las aguas lluvias transportadas por los márgenes de la vía. A lo largo de los bordillos aproximadamente cada 50m lineales de longitud se dejan chaflanes aberturas que sirven para la descarga directa de estas aguas hacia un costado de la vía debidamente canalizados.



Fotografía 8. Colocación de relleno en juntas

4. CONCLUSIONES

Las vías principales del país como la carretera Puerto Inca-Molleturo-Cuenca tenían como capa de rodadura una carpeta de asfalto que cada año requería de mantenimiento.

La decisión del gobierno para que esta carretera sea construida en su totalidad por una carpeta de hormigón Masivo es una condición positiva tanto para usuarios como para el estado ecuatoriano.

La vida útil de la carretera se prolonga y se evita el malestar continuo de estar en reparación y reconstrucción.

Los materiales de construcción son de origen fluvial y poseen buena calidad tanto por su origen y composición mineralógica.

La calidad de los materiales granulares y del Hormigón Masivo cumple con todas las normas tanto del Ministerio de Obras públicas, así como, las normas internacionales aplicadas en este tipo de Hormigón.

El control de calidad de la mezcla obtenida en planta y del Hormigón Masivo cuando se coloca en obra ha sido muy riguroso y cumple con las especificaciones técnicas descritas en el contrato de trabajo.

Esta presentación sirve para señalar como las carpetas flexibles están siendo sustituidas por carpetas de Hormigón Masivo.

Los beneficios de utilizar Hormigón Masivo para los usuarios de la carretera, habitantes del sector y el desarrollo sustentable del turismo son invalorables y será un ejemplo para mejorar las vías de los países vecinos.

5. REFERENCIAS

- **Buron, M. (2009).** Sostenibilidad de las carreteras y de las Estructuras de Hormigón, 12 p.
- **Carrau, JM. (2006).** Sostenibilidad y hormigón preparado. Nuevas tendencias del hormigón en el ámbito de una construcción sostenible". CEDEX-ACHE. Madrid.
- **Jofré, C.(1996).** Balance del empleo de las técnicas de prefisuración de bases tratadas con cemento en España. Rutas nº54.
- **Rodas, R. (1982).** Carreteras, Calles y Aeropistas.
- **Sánchez de Guzmán, D. (2000).** Tecnología del Concreto y del Mortero

DEPOSICIÓN FINAL Y USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE LA FUTURA CENTRAL TÉRMICA 240 MW DE RIO TURBIO (ARGENTINA)

Alberto Ramos Millán(1), Carolina Sánchez Pajas(2)

(1) *Departamento de Sistemas Energéticos, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas Universidad Politécnica de Madrid. Calle Ríos Rosas, 21. España. E-mail: alberto.ramos@upm.es*

(2) *Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas Universidad Politécnica de Madrid. Calle Ríos Rosas, 21. Madrid. España. E-mail: carolina.sanchez@dse.upm.es*

RESUMEN

El propósito del estudio del cual se deriva este trabajo ha consistido en definir las posibilidades de utilización de las cenizas del carbón procedentes del yacimiento carbonífero situado en Río Turbio, Provincia de Santa Cruz (Argentina). En dicho yacimiento existen unas reservas totales probadas de 450 Mt las cuales abastecerán a la futura central eléctrica de carbón en lecho fluido de 240 MWe que se está instalando actualmente en la citada zona. El consumo anual previsto de la planta será de 1,2 Mt de carbón bruto, constatando, tras los estudios realizados, que se generarán 437.160 t de cenizas de las cuales el 55% serán cenizas volantes.

Inicialmente ha sido necesaria la caracterización del material mediante análisis en laboratorio con el fin de determinar el contenido en cenizas, contenido en cloro, composición elemental, densidad aparente, humedad y análisis de compuestos oxigenados y metales en las cenizas. A la vista de los resultados obtenidos se determinan dos posibles soluciones para el aprovechamiento del material procedente de la central. El primero sería el uso de las cenizas para la fabricación de cemento, tanto para construcción como para asfaltos. La segunda propuesta sería el diseño de una escombrera para su almacenamiento en caso de no emplearse dichas cenizas en la fabricación de materiales de construcción.

Palabras clave: cenizas volantes, fabricación de cemento, escombrera.

ABSTRACT

The main objective of the associated research was to define the potential uses of coal ash from the coal mine located in Río Turbio, Santa Cruz (Argentina). In this coal mine there are a total proven reserves of 450 Mt of which cater to the future coal-fired power plant of 240 Mwe which uses a combustion technology called Fluidized bed combustion (FBC) that is currently installed in that area. The estimated annual consumption of the plant will be 1.2 Mt of raw coal, noting, after the studies, which will generate 437 160 tonnes of ash of which 55% will be fly ash.

Initially it has been necessary to characterize the material through laboratory analysis to determine the ash content, chlorine content, elemental composition, bulk density, moisture and oxygen compounds and analysis of metals in the ashes. The results show that we can define two possible solutions for the use of material from the plant.

The first would be the use of ash for cement manufacture, both for construction and for asphalt. The second proposal would be the design of a tip for storage should not use the ash in the manufacture of building materials.

Keywords: fly ash, cement manufacture, tip.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivo

El principal objetivo es el estudio del posible aprovechamiento de las cenizas generadas durante la combustión en la caldera de la central térmica de lecho fluido que se está construyendo en la localidad de Río Turbio, provincia de Santa Cruz, Argentina.

Para ello será necesaria:

- a) Definición de los límites de emisión.
- b) Caracterización de las cenizas emitidas.
- c) Aplicación o usos de las cenizas en la fabricación de: cemento, mortero seco, prefabricados de hormigón, materiales cerámicos y otros.

Durante el año 2008 se otorgó la concesión a la Provincia de Santa Cruz para la construcción de una nueva central térmica de carbón constituida por dos grupos de 120 MWe cada uno. La central tiene previsto garantizar el suministro de energía eléctrica en toda la Provincia y desarrollar la interconexión eléctrica entre la Patagonia Austral y la Red Nacional de Electricidad para transportar el exceso de producción eléctrica.

El carbón que quemará la central térmica procede prácticamente en su totalidad de la mina de carbón de la empresa "YACIMIENTOS CARBONÍFEROS DE RIO TURBIO", el consumo será de 1,2 Mt de carbón anuales. Dicho carbón tiene unos contenidos importantes de cenizas con potenciales propiedades puzolánicas. Las cenizas volantes generadas en el proceso de combustión constituirían un problema medioambiental importante, por su deposición en escombreras y un coste de oportunidad por su no aprovechamiento en la industria.

1.2 Relación UNPA-UPM

En el año 2007 se firma un Convenio específico de cooperación en las áreas de Ingeniería Minera y Energética entre la UNPA y la UPM. A partir de ese momento se empiezan a desarrollar acciones encaminadas al reforzamiento institucional de la UNPA mediante la creación de dos nuevas titulaciones en esa universidad, una denominada "Tecnatura universitaria en minería" y otra denominada "Tecnatura universitaria en energía". Como resultado de estas acciones surge un proyecto de

apoyo institucional modalidad tipo D, concedido por la AECID en diciembre de 2007 y que durante el año 2008 se ha estado desarrollando de forma muy activa.

Como resultado de dicha cooperación dentro de las actividades de reforzamiento de las nuevas titulaciones surgen dos líneas de investigación de interés para ambas universidades. Una de ellas que pone en contacto dos grupos de investigación especialistas en el aprovechamiento de las cenizas volantes procedentes de la combustión de carbón en centrales térmicas.

Durante el mes de marzo de 2007 se firma un convenio marco de asistencia técnica entre la Provincia de Santa Cruz, la UNPA y la UPM que establece el marco de cooperación para la asistencia técnica en los distintos estudios e informes técnicos para la deposición final y usos de las cenizas de la central térmica a construir en Río Turbio.

Esta Colaboración entre la UNPA y la UPM se amplía en 2009 con la participación de la Universidad de Córdoba (UCO), a través de su Escuela Universitaria Politécnica de Belmez. En Julio de este año se firma un Convenio Marco de colaboración entre la Universidad Argentina y la UCO, para la cooperación en el campo de la investigación y la docencia.

Como resultado de estas cooperaciones se ha desarrollado un plan de trabajo en colaboración entre los tres grupos de investigación, al que se ha sumado la Universidad de Magallanes (Chile), que permite el planteamiento del presente proyecto de investigación.

1.3 Yacimiento de Río Turbio

En el extremo suroeste de la Provincia de Santa Cruz se encuentra la ciudad de Río Turbio. Se ubica a la vera del río de mismo nombre en el paralelo 52°S. Al margen de este río surge su villa minera. La región de Río Turbio comprende el yacimiento carbonífero más importante de la República Argentina.

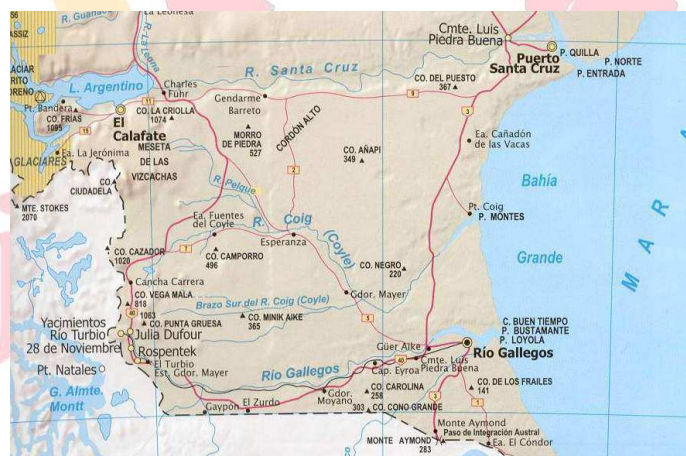


Figura 1: Mapa de localización del yacimiento carbonífero de Río Turbio.

1.3.1 Antecedentes históricos

Durante la crisis de combustibles provocada por la segunda guerra mundial, este yacimiento llegó a ser explotado de manera parcial, con el nombre “Mina La Criolla”. En el año 1942, técnicos de la División Carbón Mineral de Yacimientos Petrolíferos Fiscales, realizaron estudios sobre las características geológico-mineras del depósito. Como consecuencia de estos estudios, en el yacimiento fueron descubiertos dos mantos, separados por un banco de estéril de unos 50 metros aproximadamente, de los cuales el inferior es el que posee condiciones más favorables. Durante este período también se llevaron a cabo algunas labores mineras y se abrieron galerías; no obstante no pudo determinarse la importancia real del yacimiento. Se trataba de un carbón de 5.800 Kcal. /kgr con un contenido en cenizas relativamente alto.

En el año 1946 dentro del programa energético del país se produce el impulso que llevaría a la puesta en marcha del yacimiento Río Turbio. En el año 1948 parte hacia el puerto de la ciudad de Buenos Aires el primer embarque de carbón. Diez años después nace la empresa estatal Yacimientos Carboníferos Fiscales (YCF) la cual realizó una intensiva explotación con más de 80 Km. de galerías. Este yacimiento pertenece por ley al Estado Nacional y sus dimensiones y condiciones legales de explotación son reguladas por el Artículo 349 del Código de Minería. Ubicación geográfica El yacimiento se halla localizado en la región suroeste de la provincia de Santa Cruz y es conocido como “Cuenca Carbonífera Río Turbio”, incluye los Municipios de 28 de Noviembre y de Río Turbio. Estas localidades del extremo suroeste de la provincia de Santa Cruz están dentro del Departamento Güer Aike, el más austral de la misma, en el cual se encuentra también la ciudad de Río Gallegos capital de la provincia.

El área de la cuenca carbonífera esta delimitada por los paralelos de $51^{\circ} 31'$ y $51^{\circ} 36'$ de latitud sur y los meridianos de $72^{\circ} 12'$ y $72^{\circ} 21'$ de longitud oeste. Sus afloramientos se extienden a lo largo de una franja, paralela al límite internacional con la República de Chile, de aproximadamente 47 Km. de largo por un ancho variable de 2 a 7 km. Hacia el oeste esta ubicada la Sierra Dorotea. El área esta surcada por el río Turbio, que describe una amplia curva desde sus nacientes en el arroyo San José y el arroyo Primavera, donde esta la localidad minera de Río Turbio, pasando por Julia Dufour, pequeño poblado, hasta el límite sur, donde esta la localidad de 28 de Noviembre.

En la zona limítrofe con Chile, usualmente en lugares de difícil acceso, se produjeron varios descubrimientos que hasta la actualidad no han ofrecido real interés, ya sea por sus reservas escasas, la inexistencia de caminos o el bajo rendimiento del combustible. Tal es el caso de los carbones de Alto Río Centinela, el Salitral, de Arroyo Cuncuna y de Río de los Cachorros, situados ambos en las cercanías de Lago Argentino.

1.3.2 Actividad minera

La explotación carbonífera comprende dos etapas:

la primera, íntegramente en interior mina (preparación de galerías y extracción de mineral). El método de explotación es el de frente largo, en retroceso, con derrumbe de techo controlado.

la segunda, en superficie, donde se procede al lavado y depuración del carbón.

Aproximadamente el 50% del material que se extrae de las minas es residuo que debe ser separado del mineral.

Las tareas de lavado y separación del carbón se realizan en una planta industrial ubicada a la altura de la boca de entrada a mina 3. La primera etapa del procesamiento del carbón es lavarlo, eliminando las impurezas como arcilla y arenisca; en una segunda etapa el carbón lavado es molido y tratado en una solución densa con magnetita en suspensión; por decantación se separan la arcilla residual del carbón fino que flota. El estéril de la primera etapa es evacuado de la Planta Depuradora mediante cinta transportadora a la pila de estéril donde se acopia. La arcilla coloidal en suspensión es evacuada de la Planta Depuradora hacia las piletas de lodo donde precipita y es separada del agua mediante un desagote a nivel; el agua es drenada al cauce del arroyo San José.

1.4 Estado del arte de las cenizas volantes

1.4.1 Origen de las cenizas volantes

La producción de energía eléctrica en centrales termoeléctricas que emplean carbón como combustible origina fundamentalmente dos tipos de residuos:

- Cenizas volantes: polvo fino de partículas principalmente de forma esférica y cristalina, procedentes del carbón pulverizado quemado, las cuales poseen propiedades puzolanicas y que principalmente están compuestas de SiO_2 y Al_2O_3 . Se obtienen por precipitación mecánica o electrostática del polvo en suspensión comprendido en los gases que proceden de la combustión. Constituyen aproximadamente el 80% del total de la ceniza. El total en peso de cenizas que se producen en las térmicas suponen aproximadamente el 30% de la masa de carbón consumida.

- Cenizas de hogar: partículas más gruesas que caen al fondo, suponen alrededor del 20% de las cenizas totales.

1.4.2 Propiedades de las cenizas volantes

Propiedades físicas: Las cenizas volantes se presentan habitualmente en forma de arena o polvo muy fino, de tacto suave y con un tono gris más o menos claro, dependiendo de la cantidad de hierro y carbón sin quemar. Sus propiedades y características dependerán de diversos factores: composición química del carbón, grado de pulverización, tipo de caldera, temperatura de combustión y sistema que se emplea para recuperar las cenizas.

El grado de finura de las cenizas sin moler es similar al del cemento portland convencional y su tamaño de grano tiene un diámetro de 0,2-200 μm , llegando en algunos casos a 500 μm . Su densidad es de aproximadamente 0,89 g/cm³ y el peso específico de las partículas varia entre 2,0-2,9 g/cm³.

Con el fin de que el contenido de humedad sea mínimo y aprovechar así las cenizas, estas deben recogerse a la salida de los filtros.

Propiedades químicas: Las cenizas volantes tienen una composición química diversa, siendo los componentes más característicos en proporciones variables: sílice SiO₂, alumina Al₂O₃, óxidos de hierro Fe₂O₃, cal CaO y carbón. En función de la composición química del carbón y su procedencia las cenizas se dividen en: silicoaluminosas cuyos contenidos en CaO son inferiores al 10%; sulfocalcicas cuyo contenido es mayor del 20% y silicocalcareas.

Las silicoaluminosas, en presencia de activadores de puzolanidad como la cal o el cemento poseen propiedades ligantes; son también hidrofílicas y tienen propiedades puzolanicas. Poseen un contenido en cal < 10%, los óxidos mas importantes son la sílice, la alumina y los óxidos de hierro. El pH es básico pudiendo ser mayor que 10.

La combustión en lecho fluido consigue que las cenizas resultantes sean muy finas y su contenido en cal sea superior al de las cenizas silicoaluminosas convencionales lo que les proporciona propiedades conglomerantes (actividad hidráulica).

Se define como capacidad hidráulica la aptitud para endurecerse en presencia de agua o humedad por lo que una ceniza deberá tener un índice de hidraulicidad (relación entre la sílice mas la alumina y óxidos de hierro, y la cantidad de cal mas magnesia) de entre 1,5-0,40 para considerar su capacidad hidráulica lo suficientemente buena.

Se define como actividad puzolanica a la capacidad de los materiales de fijar hidróxido de calcio a temperatura ambiente en presencia de agua generando productos sólidos, insolubles con resistencia mecánica. Las cenizas silicoaluminosas poseen importantes propiedades puzolanicas por lo que se usan mucho en la fabricación de hormigón ya que son capaces de reaccionar con el Ca(OH)₂ liberado durante la reacción de hidratación del cemento portland.

1.4.3 Procesado de las cenizas volantes

El procesado de las cenizas dependerá de su futura aplicación. En el caso de la fabricación de cemento y hormigón se pueden someter a un tratamiento previo de molienda para homogeneizar el material. Para su uso en terraplenes y como material de relleno tampoco sería necesario un procesado previo de las cenizas. Si se quieren emplear como áridos ligeros si serán necesarios dos tratamientos previos:

- Aglomeración: se puede lograr por granulación, agitación o compactación.

- Endurecimiento: el método mas usual es la sinterización, para la cual son necesarias temperaturas superiores a los 900°C, también puede hacerse por el método hidrotermico que requiere presencia de agua y temperaturas entre 100-200°C y en frío con temperaturas menores a 100°C.

1.4.4 Aplicaciones de las cenizas volantes

Carreteras: Actualmente, las cenizas silicoaluminosas se utilizan para la fabricación de la base y subbase de las carreteras. En una central que contiene entre un 8-12% de cenizas los áridos machacados previamente se mezclan con un 2-3% de cal y un 5-7% de agua, a continuación se extiende y se compacta. Todo ello endurece lentamente logrando unas resistencias muy parecidas a las de las carreteras realizadas con conglomerantes hidráulicos como el cemento.

Las resistencias a compresión mas elevadas (hasta 20 MPa) se alcanzan al cabo del año, sin embargo durante el primer mes las resistencias y la rigidez son muy bajas.

Las principales ventajas del uso de cenizas para la elaboración de las bases y subbases de las carreteras son:

- El efecto lubricante de la ceniza facilita notablemente la compactación
- Bajas rigideces a corto plazo con endurecimiento lento.
- A corto plazo se reduce mucho el agrietamiento debido entre otras causas a las retracciones térmicas.
- Una vez compactada, la carretera puede abrirse al tráfico inmediatamente.

Cemento: Uno de los usos principales y más importantes de las cenizas volantes es la fabricación de cemento, ya que supone un importante ahorro energético y económico.

La cantidad de cenizas volantes es variable según el tipo de cemento, dichos cementos permiten obtener morteros y hormigones de una elevada impermeabilidad, tienen bajo calor de hidratación y una buena resistencia a aguas agresivas, aumenta considerablemente la retención de agua, proporcionan a los hormigones y a los morteros una gran plasticidad y facilitan la manejabilidad.

Hormigón: las cenizas volantes pueden actuar de dos formas:

- Elemento activo: sustitutivo del cemento. El uso de cenizas volantes como adición al hormigón permite disminuir la cantidad de cemento, reduce la generación de calor y consigue que la fisuración superficial sea menor. Además logra que la segregación de los áridos sea menor, disminuye la exudación, es más resistente al ataque de los sulfatos y del agua de mar y lo hacen mucho más trabajable.

La resistencia a largo plazo del hormigón con cenizas volantes como adición es similar e incluso mayor que en el hormigón sin cenizas en cambio a edades tempranas la resistencia es mas baja que la del hormigón sin adición.

Uno de los inconvenientes del hormigón con adición de cenizas es la lentitud del fraguado, lo cual supone un problema si se necesita que el endurecimiento sea rápido.

- Elemento inerte: sustitutivo de los áridos. Para sustituir parte de los áridos del hormigón se emplean las cenizas en bruto, bien en seco o en húmedo. En este caso, lo mas importante no es tanto la composición de las cenizas como la finura ya que de esa forma aumenta la plasticidad de los hormigones y la resistencia mecánica en las mezclas pobres de cemento portland, se logra además disminuir la porosidad de los hormigones evitando así la segregación.

La sustitución de áridos por cenizas volantes complementa la granulometría del hormigón y disminuye su permeabilidad principalmente en estado plástico.

Por tanto, las características del hormigón con adición de cenizas son entre otras:

- Aumenta los tiempos de fraguado.
- Disminuye la cantidad de agua necesaria para obtener una trabajabilidad similar a la de un hormigón sin cenizas, aumenta la plasticidad y la cohesión.
- Al aumentar los finos y disminuir el contenido en agua se reduce la exudación.
- Al emplear cenizas como complemento al árido el hormigón se hace más cohesivo, disminuye la segregación y la exudación, aumentando así la aptitud para el bombeo.
- La sustitución parcial de cemento por cenizas volantes disminuye el calor de hidratación.
- A corto plazo las resistencias mecánicas son bajas pero a largo plazo las iguala e incluso aumentan.
- No suponen un problema de corrosión para las armaduras.
- Aumentan la resistencia del hormigón al ataque de los sulfatos aunque si las condiciones son muy severas será necesario emplear cemento portland resistente a sulfatos.
- Pueden reducir la reacción álcali-sílice.

Áridos ligeros: Pueden fabricarse áridos ligeros a partir de cenizas volantes sinterizadas, las características del árido dependerán del proceso de fabricación y de la temperatura de endurecimiento. Las más apropiadas para la sinterización son las cenizas con elevado contenido en carbón.

Este tipo de árido tiene forma redondeada y gracias a su superficie rugosa y a su porosidad se adhieren muy bien al mortero con cemento. Tienen propiedades puzolanicas mayores a las de las cenizas sin sinterizar. Este tipo de áridos pueden emplearse en la fabricación de hormigón aislante bajo cubiertas, rellenos, elementos prefabricados, hormigón estructural, etc. En el caso de fabricación de hormigón estructural y bloques prefabricados de hormigón se disminuye el peso propio de los edificios pero la resistencia del del hormigón y su durabilidad a igual cantidad de cemento es menor.

Productos cerámicos: Otro uso de las cenizas volantes es la fabricación de ladrillos cara vista. Se sustituye parte de la arcilla plástica por las cenizas, aunque se esta estudiando el uso de las cenizas como materia prima única llegando a proporciones del 90%.

Las ventajas principales son:

- Menor cantidad de agua de amasado.
- Mayor velocidad de secado
- Cocción más rápida
- Menor porosidad
- Importante ahorro energético y de materias primas.

Sin embargo existen algunos inconvenientes, los ladrillos tienen una menor resistencia, mayor absorción, menor resistencia al hielo-deshielo y pueden presentar problemas de eflorescencias. Además es necesario controlar la temperatura de cocción, ya que la calidad de los ladrillos se ve afectada al descender dicha temperatura.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Toma de muestras

La metodología empleada para el desarrollo del estudio se inició con la toma de muestras y posterior caracterización de las mismas mediante una serie de ensayos.

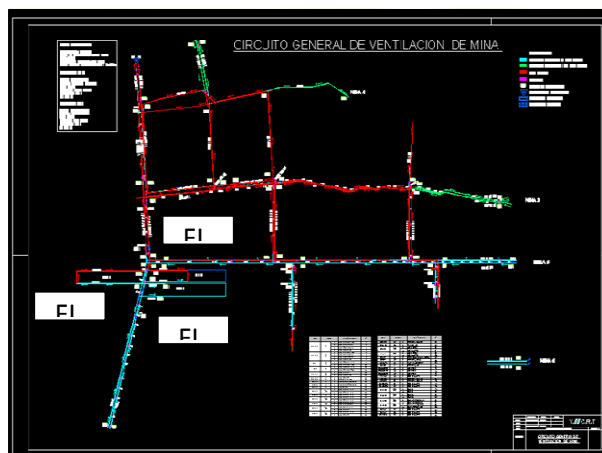


Figura 2: Circuito general de ventilación de la mina, localización de los frentes de toma de muestras.

Las muestras se tomaron en los frentes largos 71 y 72, haciendo un total de 13 puntos de muestreo:

- Frente largo 72: marchante 1, marchante 7, cinta nº 1 antes de la trituradora, cinta nº 2 después de la trituradora y distribuidor repartidor. Muestras 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente.

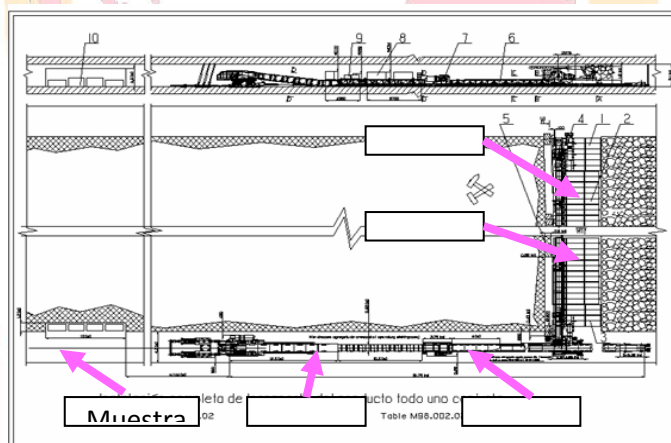


Figura 3: Frente Largo 72, localización de las muestras.

- Frente largo 71: marchante 18, marchante 1, repartidor después de la trituradora, descarga de repartidor de la cinta y cinta transportadora. Muestras 6, 7, 8, 9 y 10 respectivamente.

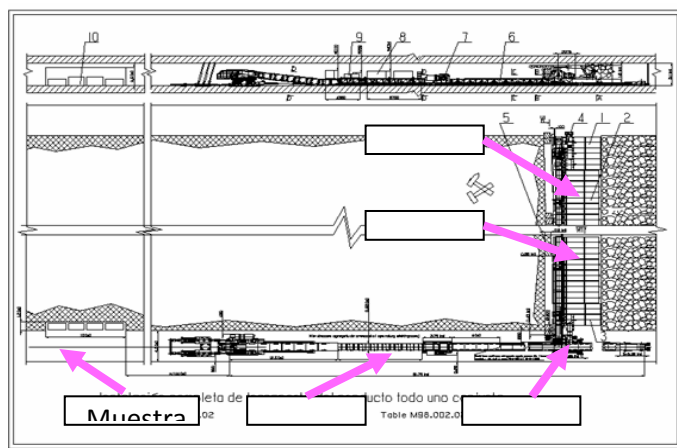


Figura 4: Frente Largo 71, localización de las muestras.

- Muestras 12, 13 y 14 de carbón grueso depurado.



Foto 1: Trabajos de toma de muestras.



Foto 2: Mineros tomando muestras.

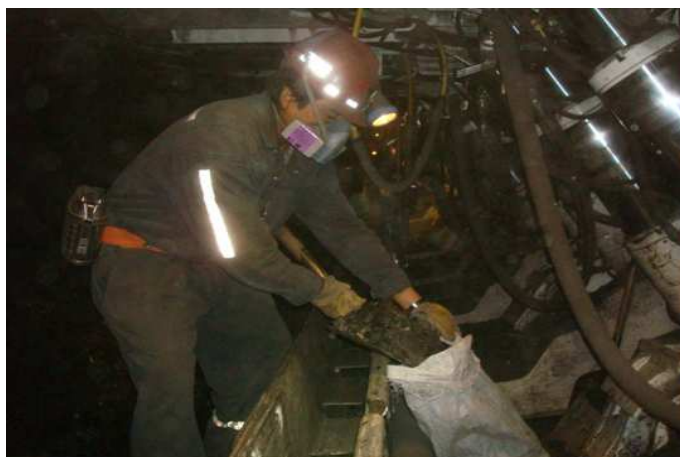


Foto 3: Toma de muestras.

2.2 Ensayos realizados

Los ensayos de las muestras se realizaron en el Laboratorio de Productos Petrolíferos, perteneciente a la Fundación Gómez Pardo de la Universidad Politécnica de Madrid.

Tabla 1: Ensayos realizados y normas.

Análisis realizados	Norma
Contenido en cenizas	UNE 32004
Contenido en cloro	UNE 32024
Análisis elemental: C,H,N,S	ASTM D 5373
Densidad aparente	EN 15150
Humedad	UNE 32002
Análisis de cenizas: Oxigenados	Procedimiento interno ICP
Análisis de cenizas: Metales	Procedimiento interno ICP

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Después de realizar los análisis pertinentes a las diferentes muestras se ha podido determinar que el contenido medio en cenizas del frente 72 es de 43,45%, mientras que el contenido del frente 71 es de 48,6%.

Tras pasar por la trituradora primaria y unirse con el material procedente de los frentes de preparación el contenido medio de cenizas es de 36,4%.

Dado que el carbón se empleará en la nueva planta de generación de energía eléctrica de 240 MWe de Río Turbio y será necesario un consumo de carbón bruto de 1,2 Mt/año, con el análisis realizado se obtendrán 437.160 t de cenizas anuales de las cuales el 55% serán de cenizas volantes suponiendo un 240.538 t del total producido.

Estas cantidades de cenizas suponen un grave problema medioambiental por lo que será necesario adoptar medidas para el posible aprovechamiento de las mismas.

Gráfico 1: Resultado contenido en cenizas

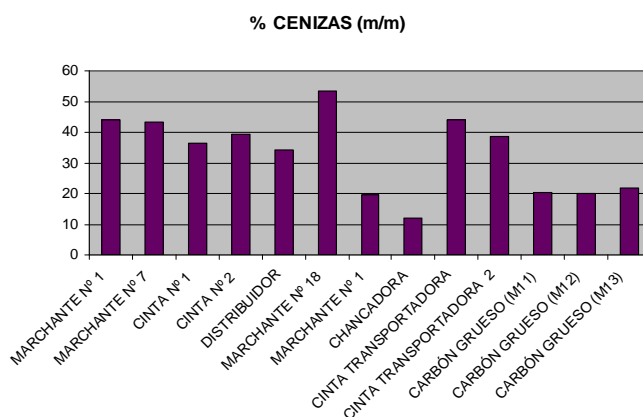


Gráfico 2: Resultado contenido en humedad

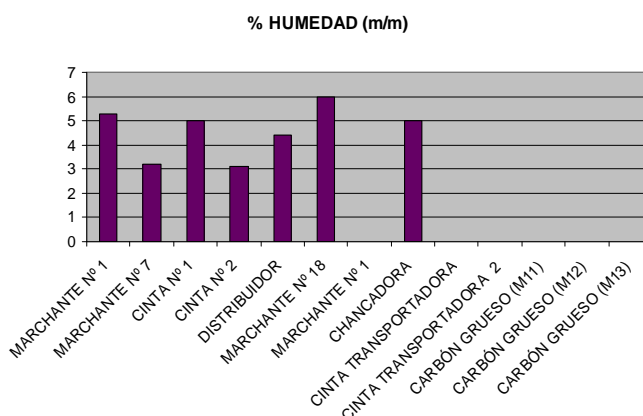


Gráfico 3: Resultado contenido en SiO2

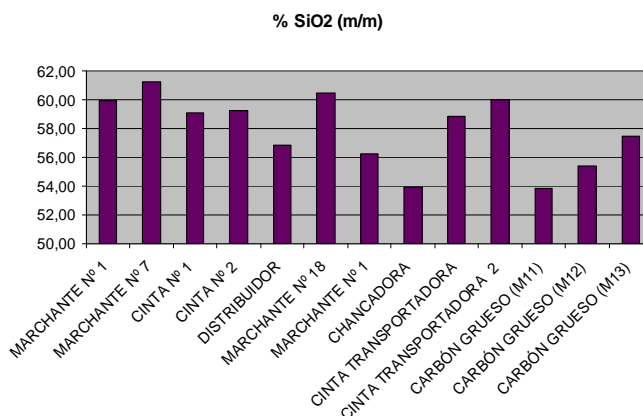


Gráfico 4: Resultado contenido en CaO

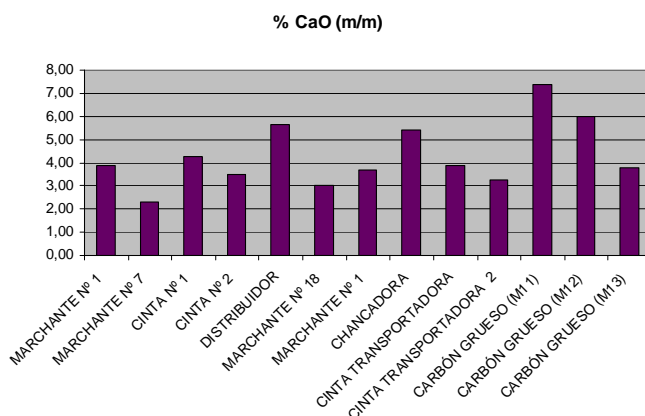
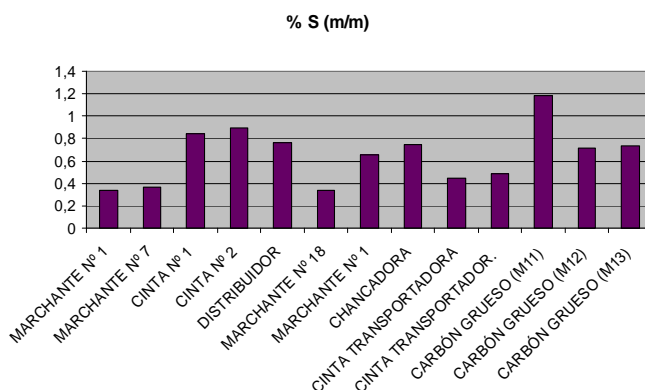


Gráfico 5: Resultado contenido en S



4. CONCLUSIONES

Las posibles soluciones al problema medioambiental que suponen las cenizas serían:

- Uso de las cenizas volantes para la fabricación de cementos, tanto para construcción como para asfalto.
- Diseño de escombrera

4.1 Uso de las cenizas volantes para fabricación de cemento

Las cenizas volantes pueden emplearse para la fabricación de cemento portland II (mixto) en categorías A y B. El CEM II/A tiene un contenido en cenizas de 6-20%, mientras que el CEM II/B tiene un contenido en cenizas de 21-35%.

Según los datos que hemos estudiado, las cenizas generadas en la central térmica de Río Turbio permitirán fabricar:

- CEM II/A: 4 Mt- 1,15 Mt.
- CEM II/B: 1,15Mt- 0,69 Mt.

La utilización de cenizas volantes supone un ahorro energético y medioambiental de eliminación del residuo ya que por cada tonelada de cenizas empleada se ahorra una tonelada de clinker, evitando la emisión de una tonelada equivalente de CO₂.

Si se usasen todas las cenizas volantes generadas por la combustión del carbón de la central térmica se ahorrarían la emisión de 240 kt de CO₂ anuales lo cual supone un precio de mercado de 3,6 millones de € anuales.

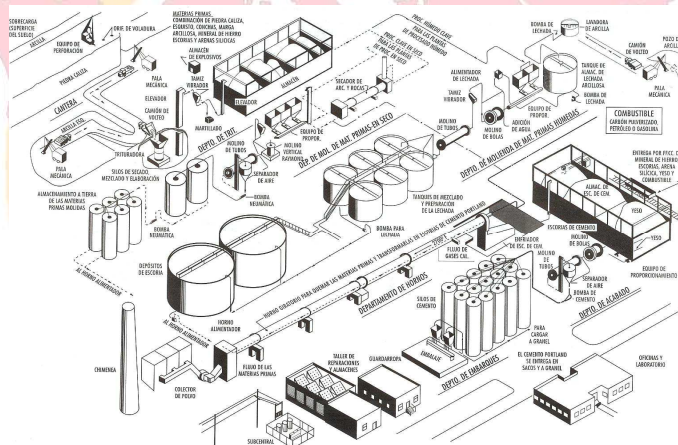


Figura 5: Fabrica de cemento con cenizas volantes.

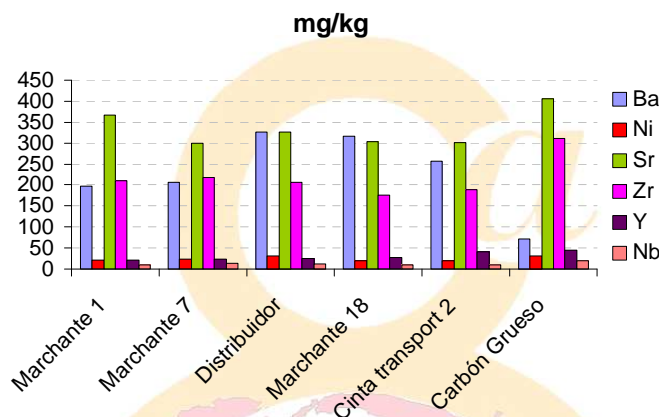
La utilización de las cenizas en el cemento conlleva una serie de ventajas: mejoran la trabajabilidad y manejo del cemento, disminuyen el contenido en agua, eliminan el resudado, aumentan la densidad, disminuyen la permeabilidad, aumentan la resistencia a largo plazo, disminuyen el calor de hidratación, previenen el calor de hidratación, previenen contra reacciones químicas (agua de mar, sulfatos, álcali-cemento) y aumentan la resistencia a la elasticidad.

Sin embargo, el uso de cenizas puede tener algunos inconvenientes: disminuyen la resistencia a 7 y 28 días, aumentan los requisitos de curado temprano, aumentan la cantidad de agente aireador y el manejo de las cenizas es más difícil que el clinker.

Para la fabricación de cemento portland es necesario tener en cuenta una serie de factores limitantes: la humedad debe ser menor del 5%, el contenido en SiO₂ será mayor de 25%, el contenido en CaO menor del 10% y el contenido en SO₃ menor del 3,5%.

4.2 Diseño de la escombrera

Existe un gran volumen de cenizas para realizar el almacenamiento de las mismas en escombrera. Para ello será necesario comprobar y analizar el contenido en metales y cloruros de las cenizas.



Gráfica 6: Resultado contenido en metales.

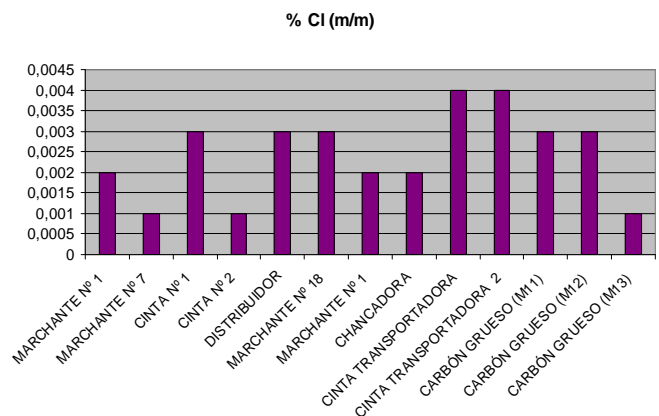


Gráfico 7: Resultado contenido en cloruros.

4.3 Acciones futuras

Las acciones futuras se centrarán en los siguientes puntos:

- Diseño, localización y estudio de impacto ambiental para la escombrera.
- Estudio sectorial de la utilización de las cenizas volantes: material puzolánico para construcción, prefabricados de hormigón para construcción y cementos asfálticos para carreteras.

- La central térmica necesitará eliminar en base al contenido de S, aproximadamente 120kt de SO_x, para ello será necesario el uso de caliza para emplearla en una desulfuradota. Es necesario realizar un estudio geológico de disponibilidad de recurso de caliza.

5. BIBLIOGRAFÍA

Alonso Ramírez, J.L (1990). “Orígenes, tipos y caracterización de las cenizas volantes”. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX. Cuaderno de investigación C27.

V.V.A.A. (1970). “Las cenizas volantes y sus aplicaciones”. Asociación de Investigación Industrial Eléctrica (ASINEL).

EHE (2008). “Instrucción de Hormigón Estructural”

ECOBA (European Association for use of the By-products of Coal-Fired Power Stations). <http://www.ecoba.com>

CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas). Ministerio de Fomento. Ministerio de Medioambiente y Medio Rural y Marino. <http://www.cedexmateriales.vsf.es>

<http://energia3.mecon.gov.ar/home/>

www.ycrt.gov.ar

www.santacruz.gov.ar/mineria

www.scribd.com

www.oni.escuelas.edu.ar

www.aenor.es

www.ieca.es

www.construmatica.es

<http://blog.is-arquitectura.es/2007/05/08/cemento-ecologico/>

http://www.cemento-hormigon.com/contenidoPag.asp?id_rep=212

<http://www.arqhys.com/arquitectura/cenizas-volantes.html>

<http://oa.upm.es/1139/>

CÁTEDRA EMPRESA ANEFA DE TECNOLOGÍA DE ÁRIDOS. ACTIVIDADES REALIZADAS

Dulce Gómez-Limón Galindo⁽¹⁾, Adolfo Núñez Fernández⁽²⁾

⁽¹⁾ Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid. Calle Ríos Rosas, 21.28003 Madrid. España. E-mail: dulce.gomezlimon@upm.es.

⁽²⁾ Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid. Calle Ríos Rosas, 21.28003 Madrid. España. E-mail: adolfo.nunez.fernandez@upm.es.

RESUMEN

La Cátedra ANEFA de Tecnología de Áridos, es una de las Cátedras Universidad-Empresa de la E.T.S de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), cuya creación pretendía potenciar la relación entre Universidad-Empresa. Esta Cátedra se creó en el año 2001, y está patrocinada por ANEFA (Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos).

Desde su creación se han realizado numerosas actividades, fundamentalmente de formación en materias del sector de los áridos tanto a los alumnos de los últimos cursos de la Escuela de Minas, como a alumnos de postgrado que quieran una actualización de conocimientos, incorporando los últimos avances tecnológicos. Esta última formación se realiza de forma semipresencial, empleando una plataforma de Internet de la UPM para seguimiento de la enseñanza no presencial.

También se han realizado cursos y jornadas de uno o dos días de duración, en temáticas de actualidad e interés para los profesionales y empresarios del sector. Así como impartición de conferencias en diferentes foros universitarios, profesionales o escolares.

ABSTRACT

The ANEFA Chair of Technology of arid, it is one of the University-Company Chairs of the School of Mines of the Polytechnical University of Madrid. It was created in the year 2001 to promote the relationship between University-Company. This Chair is supported by ANEFA.

From his creation have been realized a lot of activities, training of students of the last courses of mining engineer and postdegree that want to increase the knowledge of the matter, incorporating the last technological advances. This postdegree training is realized of form b-learning, using an internet support of the UPM, that allows the follow-up of the training not presencial.

Also others short courses have been realized, in subject of current and interest for the professionals of the sector of the arid.

1.- INTRODUCCIÓN

Las cátedras-empresa son una iniciativa pionera de la Escuela de Minas de Madrid y representan un intento de vincular más estrechamente la docencia y la investigación de la Escuela con las demandas de la industria.

Su objetivo es establecer convenios de colaboración permanente entre la Escuela y las empresas destacadas del entorno industrial. Estos convenios se basan siempre en principios de mutuo beneficio y no en criterios de subvención a fondo perdido o ayudas sin retorno.

Mediante estos convenios que firma el Rector de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y el máximo representante de la empresa, se establecen actividades de interés común tanto docentes, como de investigación o de imagen. La Escuela facilita la selección de alumnos de los últimos cursos, a las empresas y éstas pueden aportar una formación complementaria y concreta a estos estudiantes para facilitar su integración en el mercado laboral, en condiciones de alta competitividad.

En cuanto a la investigación, desarrollo e innovación la Escuela facilita personal y medios para realizar, con unos costes muy ventajosos, proyectos conjuntos de interés para la empresa, en temas previamente convenidos.

Los estudiantes y profesores obtienen beneficios de las Cátedras-empresa porque adquieren una formación complementaria y una actualización de sus conocimientos.

La Escuela como institución, se beneficia de las aportaciones económicas de las empresas y sobre todo conoce de cerca las necesidades del tejido industrial y económico. Esto le da facilidad para diseñar mejor sus planes de estudios, organizar cursos de postgrado, actualizar la formación del profesorado, etc. Todo ello dentro del marco de la mejor prestación de servicios a la sociedad, sin perder su propia autonomía y con respeto a la libertad de cátedra.

Estas Cátedras son instrumentos valiosos de acercamiento entre la Escuela y las empresas.

La primera Cátedra-empresa se formalizó en 1995, con la Cátedra Repsol. Desde el año 1999 la Dirección de la Escuela ha intensificado esta valiosa herramienta de gestión y ordenación académica, existiendo en la actualidad 13 Cátedras-empresa.

Dentro de la minería española, especialmente en la última década, la actividad de producción de áridos ha tenido un papel muy importante, ocupando el primer puesto dentro de los subsectores de esta actividad. Esto hizo que ANEFA (Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos), junto con diversas empresas del sector de los áridos, y la E.T.S. de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid acordaran en 2001, la creación de la Cátedra ANEFA de Tecnología de Áridos, con el objeto fundamental de aunar esfuerzos y cubrir la demanda de las

empresas del sector de áridos en cuanto a formación de técnicos cualificados con el deseo de que se ampliara la formación teórica y práctica de los alumnos de la Escuela en este sector, que en ese momento representaba un importante área para ejercer la profesión. Desde el año 2007, esta Cátedra paso a estar financiada en exclusiva por ANEFA.

Su objetivo principal ha sido y es aumentar la formación de los estudiantes de la Escuela de Minas en el campo de los áridos y contribuir a su permanente actualización, incorporando los últimos avances tecnológicos. El acuerdo de constitución se cumple mediante la realización de cursos y seminarios para alumnos de los dos últimos cursos, favoreciendo la participación de prácticas en empresas y proyectos de fin de carrera en las empresas que patrocinan esta iniciativa, así como, en su caso, bolsas de estudio en el extranjero. La UPM extiende a los alumnos que han completado los estudios específicos de la Cátedra ANEFA de tecnología de áridos una certificación de haber cursado con aprovechamiento las materias del programa.

También se pretende establecer líneas de investigación adecuadas para contribuir a la mejora de estos materiales.

Su gestión corresponde a una Comisión de Coordinación de Cátedra, que establece la programación anual y realiza su seguimiento. Desde su comienzo hasta junio de 2008 el Coordinador de la Cátedra fue el profesor Benjamín Calvo Pérez, y desde esa fecha hasta la actualidad esta labor está siendo desarrollada por la profesora Dulce Gómez-Limón Galindo.

2.-MATERIALES Y MÉTODOS

Las actividades de la Cátedra han ido incrementándose a lo largo de los años. Estas son:

Realizar formación complementaria a las materias de los planes de estudio de las titulaciones oficiales impartidas en Escuela de Minas: Esta actividad está dirigida a los alumnos de los últimos cursos.

También se pretende potenciar la realización de Proyectos Fin de Carrera, Becas y Prácticas de Empresa de los alumnos en temáticas relacionadas con el sector de los áridos. Objetivo que a lo largo de estos años se ha ido consiguiendo. Además todos los años se otorga un Premio al mejor Proyecto Fin de Carrera en la temática de los áridos.

Por otro lado, existe una bolsa de empleo para los alumnos que han cursado la Cátedra ANEFA, donde los empresarios del sector acuden para la selección de estudiantes.

Formación de postgrado: Durante el curso académico 2009-1010 se ha implantado un curso acreditado por la UPM de Especialista en Tecnología de Áridos de 250h, de carácter semipresencial, donde aproximadamente el 15% de las actividades son presenciales y el resto no presenciales con actividades docentes desarrolladas a través de internet. Su objetivo fundamental es facilitar la actualización de conocimientos a los profesionales del sector, incorporando los últimos avances tecnológicos.

Además se han realizado cursos y jornadas de uno o dos días de duración, en temáticas de actualidad e interés para los profesionales y empresarios del sector.

Financiación y desarrollo de Proyectos de Investigación: La investigación es otro de los objetivos de la Cátedra, anualmente, antes de la iniciación del curso, la Cátedra abre una convocatoria para la presentación de temas para proyectos de investigación, con una memoria y presupuesto. La Comisión de Coordinación de la Cátedra o las Empresas patrocinadoras suelen proponer temas. La Comisión decide los Proyectos a desarrollar y sus presupuestos.

Divulgación científica de los resultados por asistencia a Congresos de carácter nacional e internacional. Así como impartición de conferencias en diferentes foros universitarios, profesionales o escolares.

3.-ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se resumen y cuantifican las actividades realizadas y enumeradas en el anterior apartado.

Alumnos de la Escuela de Minas que han cursado la Cátedra ANEFA:

El número de alumnos que han realizado el curso de la Cátedra ANEFA en los 9 años de actividad docente ha sido 150.

Los alumnos son todos de la Escuela de Minas y en su mayoría de la titulación de Ingenieros de Minas, aunque en los 6 últimos cursos se han ido incorporando alumnos Ingenieros Geólogos, que están alcanzando 4º y 5º curso de esta titulación que se inició en 2002/03.

También han realizado el curso 3 alumnos extranjeros (Nigeria 05/06, El Salvador 06/07 y Guinea 09/10).

Del total de los 150 alumnos 43 son mujeres (28%) bastante inferior al de varones, lo cual se justifica porque en la titulación de Ingeniero de Minas el porcentaje no llega al 30%, sin embargo, es bastante superior en la titulación de Ingeniero Geólogo.

Otra actividad desarrollada para los alumnos que lo deseen es la realización de Prácticas de Residencia en empresas de áridos. Las Prácticas de Residencia es una actividad obligatoria en todas las titulaciones actuales de la Escuela de Minas. Las prácticas se realizan en empresas y tienen una duración mínima de 3 meses. El alumno tiene que presentar unos informes con las actividades realizadas.

La Cátedra ANEFA, gestiona con las empresas de ANEFA los centros de realización y concede becas. Las empresas designan un tutor y fijan las actividades a realizar por el alumno. Al ser una asignatura reglada de la Escuela, se designa otro tutor por parte de ésta.

En total 46 alumnos han realizado estas prácticas lo que supone el 35 % del conjunto de los alumnos (150) que han realizado el curso.

Por otro lado, es de destacar como la creación de la Cátedra ANEFA, ha favorecido el aumento de Proyectos Fin de Carrera relacionados con los áridos naturales o reciclados. De forma aproximada, los proyectos de áridos han pasado de un 2% a un 10%, referidos a la totalidad de los PFC de la Escuela. Además, 17 alumnos han realizado el PFC en dichas empresas, con la ayuda de becas

La Comisión de la Cátedra concede un premio, al mejor PFC relacionado con los áridos. El premio consiste en un diploma y una asignación monetaria que se dan al alumno ganador en el Acto solemne de entrega de títulos que imparte la Escuela.

Es importante destacar otro aspecto de gran interés para los alumnos que cursan la Cátedra ANEFA, y es la posibilidad de incorporación laboral a las empresas de áridos, donde una parte muy significativa ha obtenido colocación en empresas del sector al acabar sus estudios.

Formación de postgrado:

En este curso académico 2009-2010, recientemente finalizado, se ha desarrollado por primera vez un curso de postgrado en modalidad semipresencial que permite la acreditación por la Universidad Politécnica de Madrid como "Especialista en Tecnología de Áridos". Se han matriculado 53 alumnos.

El programa de formación de este Curso está dirigido fundamentalmente a profesionales relacionados con este campo de la ingeniería, ya que las empresas del sector demandan, cada vez más, técnicos bien cualificados para hacer frente a los nuevos retos tecnológicos. Esto exige una necesidad de perfeccionamiento y reciclaje de los conocimientos.

Este Curso de postgrado tiene carácter semipresencial (con desarrollo de parte del programa dado de forma presencial en los aularios de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y otra por vía Internet). Para ello, la UPM dispone de un Gabinete de Tele-Educación (GATE) que facilita el entorno telecolaborativo y de teleformación necesario para llevar a cabo este proceso formativo.

El objetivo general del programa es proporcionar una formación que garantice la capacitación para la supervisión, control y asesoramiento en materia de gestión eficaz en todos los aspectos relacionados con la actividad profesional del sector de los áridos (prospección, explotación, calidad, tratamiento, seguridad, medio ambiente, legislación y gestión económica de los procesos productivos).

Esta oferta académica está en la nueva tendencia de transformación de la Universidad española a la hora de “responder a los retos derivados tanto de la enseñanza superior no presencial a través de las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación como de la formación a lo largo de toda la vida”.

El Curso se imparte por profesores de la Escuela de Minas de Madrid de la Universidad Politécnica de Madrid y profesionales de varias empresas del sector de los áridos, así como del Laboratorio Oficial para Ensayos de Materiales de Construcción (LOEMCO).

El esquema del programa formativo se divide en dos bloques impartidos en el primer cuatrimestre (entre octubre y febrero) y segundo cuatrimestre (entre febrero y mayo), en la modalidad semipresencial.

El primer bloque se divide en los siguientes cinco módulos:

LOS ÁRIDOS. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

GEOLOGÍA Y PROSPECCIÓN DE ÁRIDOS

LABOREO DE ÁRIDOS

CALIDAD EN LOS ÁRIDOS

SEGURIDAD

El siguiente bloque, impartido en el segundo cuatrimestre, se divide en cuatro módulos:

TRATAMIENTO DE ÁRIDOS

MEDIO AMBIENTE Y RESTAURACIÓN DE EXPLOTACIONES

ASPECTOS LEGALES Y ADMINISTRATIVOS

ECONOMÍA DE LA EMPRESA DE ÁRIDOS

También se realizan dos visitas técnicas, a una cantera y gravera.

Para obtener el título de Especialista en Tecnología de Áridos por la Universidad Politécnica de Madrid, será necesario haber cumplido el mínimo de presencialidad señalado en la normativa (60%), haber realizado las actividades de internet, y superar las dos evaluaciones presenciales correspondientes a cada bloque.

El contenido completo del Curso de Postgrado (seis módulos) se encuentra a través de internet. Con objeto de adecuarse a las necesidades propias del GATE (Gabinete de Tele-Educación), el programa del Curso de Postgrado se estructura con gran libertad, en forma de pantallas en cascada, que van abriendo de forma guiada las diferentes opciones que existan.

A modo de ejemplo, se ofrecen a continuación una serie de pantallas de un programa del GATE correspondiente al uso de Internet en la enseñanza dentro de la modalidad de no presencial.

Así, una vez se ha entrado en la dirección del GATE (<https://moodle.upm.es/titulaciones/propias/login/login.php>) se solicita un nombre de usuario autorizado con la contraseña oportuna; la pantalla que se ofrece al alumno es la que se muestra en la siguiente Figura:

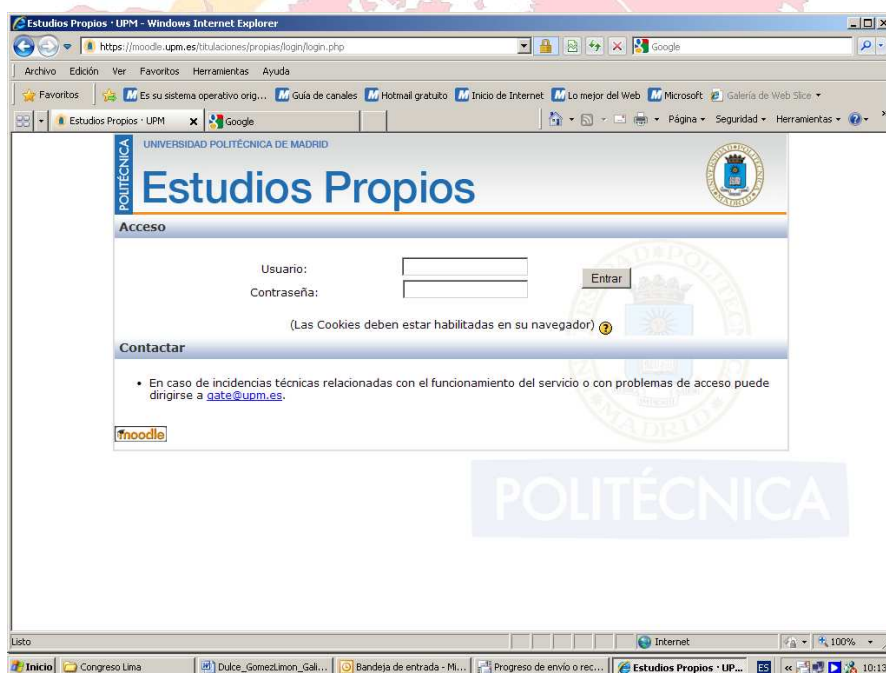


Figura 1. Pantalla de presentación del curso en el GATE

Una vez que se ha insertado la contraseña y el usuario, la pantalla que aparece es la de la Figura 2, donde se muestra la estructura y el calendario del curso, información sobre contactos, presentación de la Cátedra ANEFA, presentación para alumnos, etc.



Figura 2. Pantalla donde se muestra la estructura del curso

Dentro de cada módulo, como en el ejemplo que se muestra en la Figura 3, correspondiente al Módulo 1, las opciones que se brindan son muy variadas: foros, tablón de anuncios, ejercicios propuestos por el profesorado, actividades pendientes, seguimiento de las calificaciones obtenidas, relación de alumnos y profesores participantes, material de estudio, documentación adicional, bibliografía, etc.

Para acceder al material de estudio, simplemente hay que pinchar, dentro de cada materia que compone cada uno de los módulos, sobre el título del tema que deseamos descargar, tal y como vemos en la Figura 3. Como documentación adicional, dependiendo de los Módulos, se encuentra información disponible en la Universidad Politécnica de Madrid, que pueden ser libros, DVD, proyectos, etc.

Una vez consultado el temario, anuncios, la documentación adicional, etc., se realizan las actividades del Módulo, que aparecen por debajo del apartado de la documentación, tal y como se observa en la Figura 3. Estas actividades, propuestas por el profesorado que imparte cada módulo o tema, pueden ser de tres tipos:

Ejercicios tipo test de respuesta múltiple o verdadero/falso.

Cuestiones de respuesta abierta. Se contesta directamente en la plataforma.

Ejercicios o Casos, que corresponden a los trabajos o ejercicios propuestos donde el alumno envía la solución en un archivo con un determinado formato.



Figura 3. Material didáctico y ejercicios propuestos del Módulo 4.

Cuando se tienen dudas, o el sistema presenta algún problema que nos impide realizar correctamente las actividades previstas, se puede recurrir al foro de debate habilitado a tal efecto, donde tanto alumnos como profesores pueden conversar informalmente, mediante el envío de mensajes públicos.

Por último, las tutorías pueden realizarse además de forma personalizada a través del correo electrónico y el teléfono, además de las tutorías clásicas presenciales.

Para acceder a los Estudios de Postgrado realizados por la U.P.M. será condición necesaria estar en posesión de un título universitario (Arquitecto, Ingeniero, Licenciado, Arquitecto Técnico, Ingeniero Técnico o Diplomado), quedando a cargo de la dirección del curso la selección de los candidatos de acuerdo con los conocimientos y experiencia de cada uno.

Otra de las nuevas actividades iniciadas por la Cátedra ANEFA es la impartición de cursos y jornadas de uno o dos días de duración, en temáticas de actualidad e interés para los profesionales y empresarios del sector, especialmente en este momento de grave crisis, donde se han producido reducciones de producción de hasta el 50%. Se han celebrado dos cursos con las siguientes temáticas: "Eficiencia Energética en el sector de los Áridos" y "Gestión Empresarial y Ahorro de Costes de las Explotaciones de Áridos". En ambos el número de asistentes estuvo próximo a 60 personas.

Financiación y desarrollo de Proyectos de Investigación. Se han desarrollado un total de 8 Proyectos de Investigación coordinados por profesores de la Escuela de Ingenieros de Minas en temas de aplicación e interés para el sector de los áridos. Estos son:

Ampliación del proyecto “Análisis y prevención de la reactividad árido-álcali para la evaluación de la durabilidad de los hormigones”. Dirigido por el profesor Benjamín Calvo.

Racionalización de los husos granulométricos de áridos y sus aplicaciones. Dirigido por el profesor Mariano Ricardo Echevarría.

Investigación de un modelo de desarrollo sostenible para el sector de áridos en España. Dirigido por el profesor José Antonio Botín.

Estudio prenормativo de áridos reciclados para la fabricación de hormigón y mortero. Dirigido por el profesor José Luis Parra y Alfaro.

Determinación del consumo de acero en plantas de producción de áridos. Dirigido por el profesor Adolfo Nuñez.

Análisis y prevención de la reactividad árido-álcali para la evaluación de la durabilidad de los hormigones. Dirigido por el profesor Benjamín Calvo.

Determinación del consumo de acero en plantas de producción de áridos. Dirigido por el profesor Adolfo Nuñez.

Estudio de un modelo matemático del desgaste de acero en equipos de trituración de Sandvik. Codirigido por el profesor Adolfo Nuñez y Dulce Gómez-Limón.

En la actualidad se está desarrollando in situ en una instalación minera, conjuntamente con la Cátedra Maxam de Tecnología de explosivos, un proyecto para optimizar la trituración primaria de áridos por determinación de las curvas granulométricas en la etapa de voladura por métodos de tratamiento de imágenes.

Estos proyectos han servido para desarrollar numerosos Proyectos Fin de Carrera, trabajos tutelados de investigación doctoral, así como dos tesis doctorales, y otra en elaboración.

Divulgación científica:

Se ha asistido a diferentes Congresos del sector minero y de áridos de carácter nacional o internacional, donde se han presentado tanto las actividades de la Cátedra ANEFA, como los resultados de los proyectos de investigación realizados. Estos son:

- 1^{er} Congreso Nacional de Áridos. Zaragoza (España), año 2006. 2 comunicaciones.
- XII Congreso Internacional de Energía y recursos Minerales. Oviedo (España), año 2007. 2 comunicaciones.
- 1^{er} Congreso Argentino de Áridos. Mar de Plata (Argentina), año 2008. 3 comunicaciones.
- 2^o Congreso Nacional de Áridos. Valencia (España), año 2009. 2 posters y 4 comunicaciones.

4.- CONCLUSIONES

Durante los 9 años de vida de la Cátedra ANEFA se han realizado numerosas actividades que han resultado favorables tanto para las empresas del sector de áridos como para la E.T.S. de Ingenieros de Minas de la UPM.

Sus actividades están orientadas fundamentalmente a formación e investigación en el sector de los áridos.

Un total de 150 de estudiantes de los últimos cursos de las titulaciones impartidas en la Escuela de Ingenieros de Minas han obtenido el diploma acreditativo de la Cátedra, y de ellos, aproximadamente el 20% ha tenido su primer empleo en empresas del sector de los áridos.

También, en este año académico 2000-10 se ha iniciado un curso de postgrado de la UPM de Especialista en Tecnología de Áridos, con carácter semipresencial, donde parte de la metodología docente se desarrolla vía Internet. El número de estudiantes matriculados fue de 53.

Además, se han realizado cursos cortos en temas de interés para estos momentos de crisis del sector.

Respecto a la investigación desarrollada, se han realizado 8 proyectos de investigación dirigidos por profesores de la Escuela de Minas. Los resultados se han difundido en Congresos nacionales e internacionales relacionados con el sector.

Actualmente se está implementado un estudio piloto en una instalación real en colaboración con otra Cátedra-empresa de la Escuela de Minas (Cátedra MAXAM de Tecnología de Explosivos). Esto ha facilitado la elaboración de numerosos Proyectos Fin de Carrera, así como Trabajos Tutelados de Doctorado y Tesis Doctorales.

5.- BIBLIOGRAFÍA

Memoria de Actividades Cátedra ANEFA, curso 2007-2008 y curso 2008-2009. E.T.S. de Ingenieros de Minas. Disponibles en la Web de la UPM: <http://www.upm.es/portal/site/institucional/menuitem.e29ff8272ddfb41943a75910dffb46a8/?vgnnextoid=59aee0b825a92110VgnVCM100000fdbf648aRCRD>

Normativa de la Universidad Politécnica de Madrid por la que se regulan los estudios de postgrado, (Diciembre 1997).

Web Universidad Politécnica de Madrid: <http://www.upm.es>

Web Universidad Politécnica de Madrid: <https://moodle.upm.es/titulaciones/propias/>

Web ETS de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid: <http://www.minas.upm.es/relex/CatANEFA/Cat-ANEFA.htm>



ESTUDIO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE ACERO EN EQUIPOS DE TRITURACIÓN DE ÁRIDOS.

Dulce Gómez-Limón(1), Adolfo Núñez F.(2), Cristina Téllez(3), Irene Gozalo(4).

1,2,3 *Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas (Universidad Politécnica de Madrid) – Cátedra ANEFA. Calle Ríos Rosas ,21 (28003 Madrid) dulce.gomezlimon@upm.es*

(4) *Escuela Politécnica Superior de Ávila (Universidad de Salamanca) Calle Santo Tomás /n 05003 Ávila irenegs@usal.es*

RESUMEN

El consumo de acero en plantas de trituración de áridos tiene una incidencia notable en los costos. La información bibliográfica disponible sobre estos consumos referenciados al Índice de Abrasión (A_i) es exigua, por ello la Cátedra ANEFA ha promovido dos estudios para cuantificar esos consumos:

Un estudio del consumo de acero con datos reales tomados de distintas trituradoras de plantas de tratamiento de áridos abrasivos, gravas silíceas, corneanas y granitos para máquinas de mandíbulas, conos e impactores horizontales y verticales, cifrando el desgaste en g/t triturada para diversas máquinas y rocas. Esta información, aunque sea de valores puntuales, es de gran utilidad para aplicar los resultados a máquinas trabajando en condiciones similares a las estudiadas pero no es extrapolable a otras situaciones ya que no se pudo obtener una relación entre el desgaste en g/t y el consumo de energía eléctrica en kWh.

Continuando esta línea de investigación se ha realizado otro estudio, utilizando un programa de SANDVIK, con lo que se han evaluado, para un tipo de roca ($A_i = 0,5$), los consumos de acero en gramos por kWh o por tonelada de árido producido, para trituradoras de mandíbulas e hidroconos obteniendo para cada caso un número suficiente de resultados que ha permitido plasmarlos en curvas, en lugar de valores puntuales, que relacionan el Índice de abrasión con el desgaste de metal tanto en g/t triturada como en g/kWh, información que es de mayor aplicación práctica.

Finalmente se ha tratado de cotejar o relacionar, los resultados de ambos estudios.

Palabras clave: desgaste, aceros, trituración, áridos, abrasividad, índice de abrasión (A_i).

INTRODUCCIÓN

En el año 2004 se finalizó el “Estudio de desgaste de aceros en equipos de trituración en plantas de áridos” realizado por la profesora Irene Gozalo y financiado por la Cátedra Empresa ANEFA. El estudio se hizo tomando 8 muestras de 3 tipos de áridos de abrasividad alta a media; gravas silíceas (4), corneanas (2) y granitos (2), en explotaciones industriales en funcionamiento.. En las 8 plantas de tratamiento de esos 3 tipos de áridos, se recogieron datos de desgastes duración de

revestimientos y barras, horas de funcionamiento y toneladas tratadas por las diversas máquinas de trituración.

Este estudio (Proyecto de investigación) permitió reunir y tabular una interesante y práctica información sobre consumos, duración y horas de parada de mantenimiento para distintos tipos de áridos y máquinas; sin embargo no se pudo establecer una correlación o modelo matemático para determinar el consumo de acero en función de los parámetros que inciden en el consumo de acero, porque el número de datos obtenidos para los diferentes tipos de rocas, máquinas y condiciones de operación, era insuficiente para calcular un posible algoritmo.

Del Estudio se han seleccionado y preparado dos tablas que recogen y resumen datos de gran interés.

Tabla 1: Caracterización de las rocas.

	Contenido Si libre	Índice de Abrasividad	Triturabilidad	Desgaste de los Ángeles
Granitos	25%±3 Al 31%±3	1.000 y 1.300 g/t Abras. media	70 % al 75 % Triturab. fácil	38-60
Corneanas	23%±2 Al 34%±2	900 y 1.400 g/t Abras. media	24 % al 30 % Triturab. Media-Alta	9-13
Gravas Silíceas	62%±4 Al 70%±3	1.500 y 1.800 g/t Abras. alta	45 % al 50 % Triturab. media	25-28

Tabla 2: Resumen media de desgaste de piezas para distintos materiales y equipos en g/tonelada tratada.

Trituración	Desgaste de Aceros (g/tonelada tratada)					
	MACHACADORA			GIRATORIA O CONO		
	TIPO DE MATERIAL			TIPO DE MATERIAL		
	Granito	Corneana	Gravas Silíceas	Granito	Corneana	Gravas Silíceas
PRIMARIA	4,4	SD	SD	SD	SD	SD
SECUNDARIA	SD	SD	2,5	2,8	2,3	15,4
TERCIARIA	NA	NA	NA	3,8	3,9	20,6

Trituración	Desgaste de Aceros (g/tonelada tratada)					
	IMPACTOR			IMPACTOR EJE VERTICAL		
	TIPO DE MATERIAL			TIPO DE MATERIAL		
	Granito	Corneana	Gravas Silíceas	Granito	Corneana	Gravas Silíceas
PRIMARIA	SD	SD	SD	NA	NA	NA
SECUNDARIA	5	8,5	41,1	3,9	7,9	19
TERCIARIA	10,9	18,5 8,3	43,8	8,6	17,4	41,8

NA: No aplicable. SD: sin datos para este equipo en estas condiciones

MATERIALES Y MÉTODOS

Programa De Cálculo Y Objetivos Del Estudio

En el año 2008 la empresa SANDVIK ofreció a la Escuela de Minas de Madrid (Cátedra ANEFA) la posibilidad de utilizar un programa de cálculo que permite determinar la vida, en horas y toneladas, de las piezas de desgaste de trituradoras de mandíbulas de simple efecto (simple biela) y de hidroconos que fabrica dicha empresa, en función de distintos parámetros característicos de los áridos y de las condiciones de operación de las máquinas, de acuerdo con datos recopilados por la empresa, procedente de plantas en operación.

Este programa de cálculo fue un avance muy importante con respecto al Estudio del año 2004, en el que la presentación de los resultados del desgaste de piezas, en gramos por tonelada tratada, no era la forma usual de expresar el consumo ; que suele ser en kg o g de acero por kWh de energía consumida por la máquina en función del Índice de Abrasión (Ai) del mineral o roca. Hay que tener en cuenta que en las plantas de áridos, es frecuente que no se conozca el consumo de energía de cada trituradora o molino durante la vida útil de cada pieza. Por esto, el equipo del Estudio de 2008/2009 se planteó obtener los consumos de acero para tres supuestos: en función del consumo energético (g/kWh), de la producción (g/t) y del tamaño final del producto obtenido (d80).

Documentación Utilizada

Catálogos de trituradoras y conos de SANDVIK.

Peso de las piezas de desgaste de las trituradoras de mandíbulas, datos aportados por SANDVIK.

Pérdida de peso en % de las piezas de desgaste obtenida del Estudio de 2004.

Trituradoras estudiadas.

Todos los equipos analizados pertenecen al grupo SANDVIK. Estos son:

Hidroconos H; 5 Modelos: H3800 a H8800 con cámaras C (gruesa), EC (extra gruesa), M (media) MF, F (fina) y EF (extra fina).

Hidroconos S: 4 Modelos: S2800 a S6800 con Cámaras C ó EC.

Mandíbulas JM; 8 Modelos: JM806 (800x500mm) a JM1513 (1500x1300mm).

Parámetros del Estudio.

Para el estudio realizado se fijaron de una serie de parámetros, con objeto de determinar el comportamiento de una máquina específica, triturando un tipo de material concreto. A continuación se exponen estos parámetros prefijados:

Relacionados con la roca (árido) a triturar.

Los parámetros característicos de la roca a analizar, y que se deben introducir en el programa son:

Índice de Abrasión (Ai): Con valores entre 0,001 y 0,9. Cuando se ha manejado un solo valor (valor

Tabla 3: Propiedades de los materiales a tratar.

Name of rock	Type of rock	Impact Work Index (W)	Compact Density (t/m^3)	Bulk Density (t/m^3)	Abrasion Index (Ai)	Compressive Strength (MPa)
Amphibolite	Metamorphic	16 \pm 3	2,8-3,0	1,7	0,2-0,5	?
Andesite	Igneous	16 \pm 2	2,6-2,8	1,6	0,5	170-300
Basalt	Igneous	20 \pm 4	2,9-3,0	1,8	0,25 \pm 0,18	300-400
Diabase	Igneous	19 \pm 4	2,8-2,9	1,7	0,28 \pm 0,15	250-350
Diorite	Igneous	19 \pm 4	2,7-2,8	1,6	0,4	170-300
Dolomite	Sedimentary	12 \pm 4	2,7	1,6	0,02 \pm 0,01	50-200
Gabbro	Igneous	20 \pm 3	2,9-3,0	1,8	0,4	170-300
Gneiss	Metamorphic	16 \pm 4	2,7	1,6	0,48 \pm 0,18	200-300
Granite	Igneous	16 \pm 6	2,7	1,6	0,46 \pm 0,16	200-300
Greywacke (Sandstone)	Sedimentary	18 \pm 3	2,7	1,6	0,3	150-300
Gritstone	Sedimentary	See Sandstone				
Hornfels	Metamorphic	18 \pm 3	2,8	1,65	0,7	150-300
Limestone	Sedimentary	12 \pm 3	2,7	1,6	0,001-0,1	80-180
Marble	Metamorphic	12 \pm 3	2,7	1,6	0,001-0,1	80-180
Porphyry	Igneous	18	2,7	1,6	0,1-0,9	180-300
Quartzite	Metamorphic	16 \pm 4	2,7	1,6	0,79 \pm 0,28	150-300
Sandstone (excl. Greywacke)	Sedimentary	10 \pm 3	2,7	1,6	0,1-0,9	30-180
Syenite	Igneous	19 \pm 4	2,7-2,8	1,6	0,4	170-300
Iron Ore (Magnetite)		8 \pm 4	4-5,2	2,4-3,1	0,2 \pm 0,2	
Iron Ore (Hematite)		11 \pm 4	4-5,2	2,4-3,1	0,5 \pm 0,4	

Densidad aparente: Valores entre 1 y 4 t/m³. Se ha fijado el normal de un árido: 1,6.

El programa no utiliza de forma directa el Índice de Trabajo (Work Index, Wi), pero al ser un coeficiente fundamental en el cálculo de la potencia eléctrica consumida, está presente en sus resultados.

Relacionados con el equipo de trituración y sus condiciones de operación.

Para analizar la influencia de estos parámetros es necesario utilizar, además del programa informático, la información de los equipos facilitada por el fabricante. Los parámetros analizados son los siguientes:

Reglaje y Capacidad.

Estos dos valores se seleccionan en el programa y deben ser compatibles con los que figuran en el catálogo correspondiente a la máquina escogida. El reglaje (CSS) corresponde a la posición a la posición abierta de la salida de la máquina en las trituradoras de mandíbulas y a la posición cerrada en los hidroconos.

Potencia nominal del motor y potencia utilizada.

El valor de la potencia nominal viene dada para cada modelo de máquina por el programa. Para facilitar los cálculos se ha empleado un valor de potencia utilizada igual a la nominal.

Boca de admisión y Tamaño de salida (d80).

Estos datos no se introducen de forma directa en el programa, pero si están relacionados con otros parámetros que han sido seleccionados. La boca de admisión con el modelo (tamaño) de la trituradora y el d80 con el reglaje (CSS)

Otros parámetros utilizados u obtenidos en el programa.

Vida Estimada (h) = Factor de Vida (Lf) x (Potencia Nominal Motor/ Potencia Utilizada Motor) x Vida Nominal de las Piezas (h).

Vida Estimada (t) = Vida Estimada (h) x Capacidad del equipo (t/h).

Energía consumida (kWh) = Potencia Motor (kW) x Vida Estimada (h).

El Factor de Vida (Lf) es función del Índice de Abrasión (Ai). A mayor Índice de Abrasión, el Factor de vida es menor y también la Vida Estimada de las piezas.

Tabla 4: Relación entre el Factor de Vida y el Índice de Abrasión.

Ai	Lf	Ai	Lf	Ai	Lf	Ai	Lf
0,001	15,00	0,030	6,31	0,095	3,31	0,30	1,45
0,002	14,00	0,035	5,89	0,10	3,20	0,35	1,29
0,003	13,00	0,040	5,54	0,11	2,99	0,40	1,17
0,004	12,43	0,045	5,25	0,12	2,80	0,45	1,08
0,005	12,00	0,050	5,00	0,13	2,65	0,50	1,00
0,006	11,44	0,055	4,70	0,14	2,51	0,55	0,89
0,007	10,98	0,060	4,45	0,15	2,39	0,60	0,80
0,008	10,60	0,065	4,22	0,16	2,28	0,65	0,64
0,009	10,28	0,070	4,03	0,17	2,18	0,70	0,52
0,010	10,00	0,075	3,85	0,18	2,09	0,75	0,43
0,015	8,52	0,080	3,69	0,19	2,01	0,80	0,35
0,020	7,60	0,085	3,55	0,20	1,94	0,85	0,30
0,025	6,86	0,090	3,42	0,25	1,65	0,90	0,25

Si representamos gráficamente estos datos obtenemos la grafica siguiente:

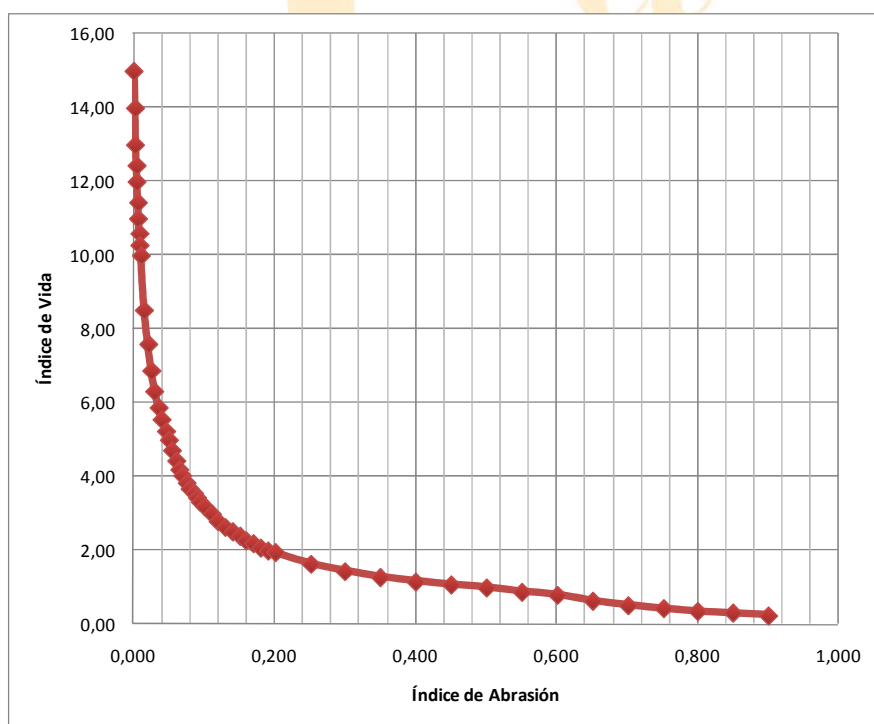


Figura 1: Relación de los Índices de Vida y de Abrasión.

Pesos de las piezas de revestimientos de las máquinas y vida estimada.

Las piezas de revestimiento que se han tomado como referencia del desgaste para cada tipo de trituradora son las siguientes:

Trituradoras de Mandíbulas JM: Placas de revestimiento de la mandíbula fija de la mandíbula móvil y de los laterales. Estos pesos no están en el programa, pero sí la

vida estimada en toneladas tratadas y en horas. Los pesos los ha facilitado el fabricante.

Hidroconos H: Revestimientos del cóncavo (concave) y de la nuez (mantle). En el programa solo aparece el peso conjunto de ambas piezas, pero se da la vida estimada en horas y toneladas, desglosada para cada pieza.

Hidroconos S: Revestimientos de la parte alta y baja del cóncavo (upper & lower concave) y el de la nuez (mantle). En el programa solo aparece el peso conjunto de ambas piezas, pero se da la vida estimada en horas y en toneladas, desglosada para cada pieza.

Porcentaje de pérdida en peso de los revestimientos.

Se han utilizado los siguientes valores recogidos en el Estudio de 2004:

30 % de desgaste para el cóncavo + nuez, en los hidroconos S y H.

47% para la mandíbula fija y 60,5% para la móvil en las trituradoras de mandíbulas.

Unidad de medida del desgaste.

Se ha tomado el gramo (g) como la unidad de apropiada para cuantificar el desgaste de las piezas. Dependiendo del caso, el desgaste g se relacionará:

-Con la energía empleada en kWh (g/kWh) y el A_i

Con la producción en toneladas tratadas (t) (g/t) y el A_i

-Con la producción en toneladas tratadas (t) (g/t) y el d80 en mm, obtenido de la curva del producto de salida la máquina para el reglaje escogido.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Hidroconos serie H.

Desgaste en función de la potencia consumida.

Los datos obtenidos con el programa, dan el desgaste de las piezas en g por kWh de potencia consumida para cada modelo de Hidrocono H.

Tabla 5: Desgaste de metal (g/kWh) en función de Ai

Ai	H2800-M	H3800-M	H4800-M	H6800-M	H7800-M	H8800-M
0,01	0,47	0,51	0,53	0,49	0,48	0,52
0,1	1,48	1,59	1,64	1,54	1,50	1,62
0,2	2,45	2,62	2,71	2,54	2,48	2,67
0,3	3,28	3,51	3,64	3,41	3,32	3,57
0,4	4,04	4,33	4,48	4,20	4,09	4,40
0,5	4,75	5,08	5,26	4,93	4,80	5,17
0,6	5,93	6,35	6,58	6,17	6,00	6,46
0,7	9,18	9,83	10,18	9,54	9,28	9,99
0,8	13,39	14,34	14,85	13,92	13,55	14,58
0,9	18,69	20,01	20,73	19,43	18,91	20,35

Con ellos se representó gráficamente, para cada máquina, la variación del desgaste para los diferentes Índices de Abrasión (Ai).

Finalmente se representaron estas seis curvas en un solo gráfico que es el que se muestra a continuación:

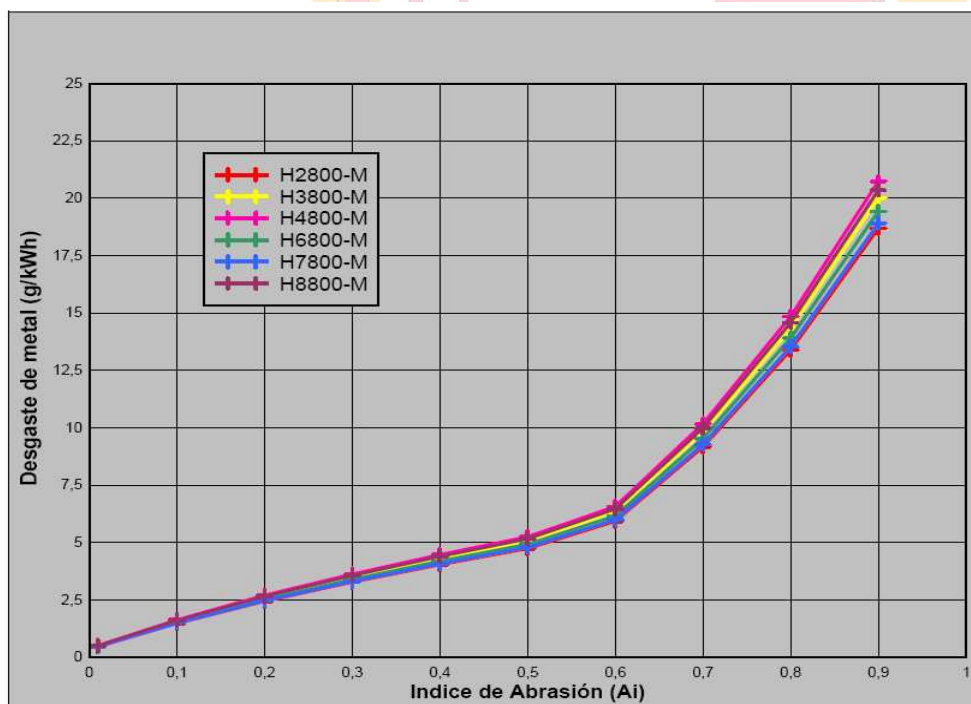


Figura 2: Desgaste piezas Hidroconos H en g/kWh, en función del Índice de Abrasión.

Hay que advertir que si bien las trituradoras de mandíbulas se suelen utilizar para rocas de alta o baja abrasividad, los hidroconos sólo son competitivos con otras maquinas (impactores) para materiales abrasivos, por lo tanto para este tipo de maquinas solo tiene interés practico el tramo de mayor pendiente de las gráficas. ($A_i \geq 0,6$)

Ajustando las curvas a una ecuación de tercer grado de la forma siguiente:

$$Desgaste = c_3 A_i^3 + c_2 A_i^2 + c_1 A_i + c_0$$

Se obtuvieron una serie de valores para los coeficientes de las seis curvas que se expone en la tabla siguiente:

Tabla 6: Desgaste de metal (g/kWh). Coeficientes.

	H2800-M	H3800-M	H4800-M	H6800-M	H7800-M	H8800-M
c3	54,559	58,421	60,504	56,707	55,191	59,415
c2	0,171	-50,818	-52,629	-49,327	-48,008	-51,682
c1	19,231	20,593	21,327	19,988	19,454	20,943
c0	-47,458	0,183	0,19	0,178	0,173	0,186

Desgaste en función de la Producción.

Se realizó el mismo planteamiento que en el caso anterior, pero la comparación se hizo entre la cantidad de material desgastado de las piezas y el árido producido por cada trituradora. Se fijó el reglaje del cono y su producción. El hecho de tomar una producción constante para un conjunto de materiales de diferente A_i no es del todo exacto, aunque puede ser útil en una primera aproximación. Para realizar esta comparación se calcularon los siguientes factores:

Vida estimada (h) = Factor de Vida (Lf) x (Potencia Nominal Motor/ Potencia Utilizada Motor) x Vida Nominal de las Piezas (h).

Material producido (t) = Producción (t/h) x Vida estimada (h).

Cantidad de material desgastado en piezas (kg) = Peso original de las piezas (kg) x Pérdida de peso (%).

Si se hacen estos cálculos en cada modelo y se realiza el cociente entre el material de las piezas desgastado y el material producido se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 7: Desgaste de metal (g/t) en función de Ai

Ai	H2800-M	H3800-M	H4800-M	H6800-M	H8800-M
0,01	0,51	0,36	0,32	0,30	0,42
0,1	1,61	1,12	0,99	0,93	1,30
0,2	2,65	1,84	1,64	1,53	2,14
0,3	3,55	2,47	2,20	2,05	2,87
0,4	4,38	3,04	2,71	2,52	3,53
0,5	5,14	3,57	3,18	2,96	4,15
0,6	6,43	4,47	3,97	3,70	5,19
0,7	9,94	6,91	6,15	5,73	8,03
0,8	14,51	10,08	8,97	8,36	11,72
0,9	20,25	14,07	12,52	11,67	16,36

Estos valores se representaron gráficamente, tomando como eje de ordenadas el desgaste en metal (en g/t) y como eje de abscisas, el Índice de Abrasión.

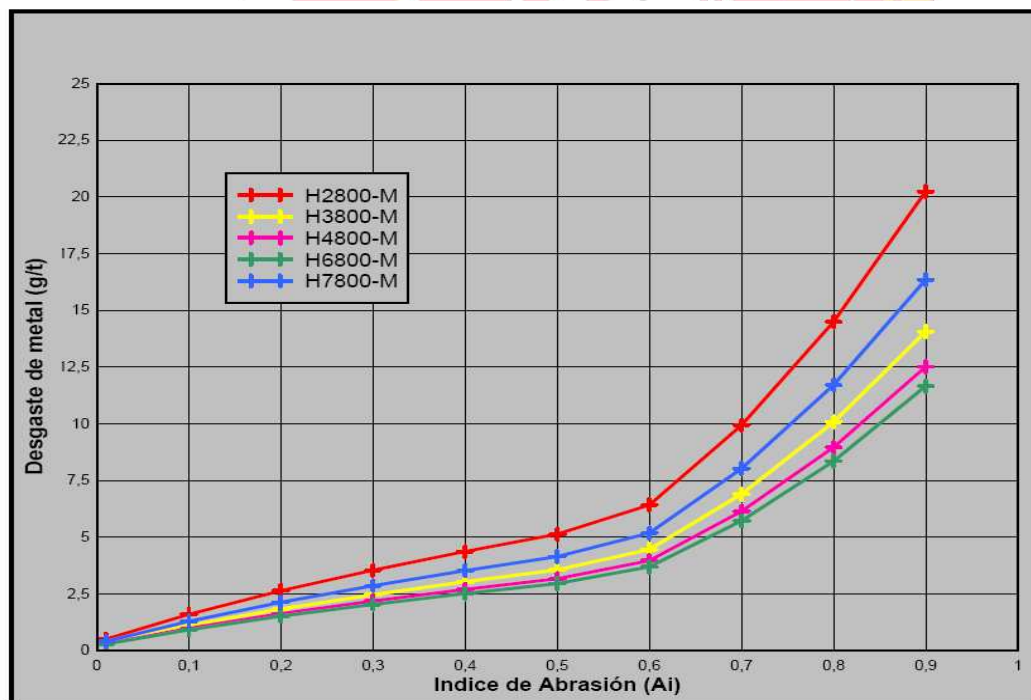


Figura 3: Desgaste piezas Hidroconos H (g/t) en función del Índice de Abrasión.

Desgaste en función del tamaño final obtenido.

Se estudió el desgaste de las piezas del Hidrocono en g/t relacionándolo con el tamaño de salida a partir del reglaje (CSS) y de las curvas del hidrocono correspondiente. Para realizar el cálculo hay que introducir una nueva variable, el d80 de salida del material. Al utilizar esta variable, se debe prescindir de la variación de otro de los datos de partida, ya que el volumen de los cálculos para estudiar las posibles combinaciones de cuatro factores (Índice de Abrasión, Caudal, Tamaño de Salida y Vida Nominal de las piezas) daría como consecuencia un modelo matemático mucho más complejo del que se pretende obtener. Por esta razón se decidió realizar este supuesto con un valor único de A_i : 0,5. Tomando en el eje de ordenadas el consumo de metal en gramos por tonelada de árido producido y en abscisas la dimensión del d80, en mm, se obtuvieron unas gráficas, previo ajuste a ecuaciones de tercer grado, que para algunos modelos y para tamaños d80 crecientes daban un decrecimiento del consumo de metal, lo cual no es coherente. Esto se debe a que en el catálogo hay anomalías entre los rangos de producción para los reglajes correspondientes a esos d80. Por esta causa no se incluyen las curvas en esta Comunicación.

HIDROCONOS SERIE S.

Se han realizado los cálculos para hidroconos tipo S del mismo modo que se hizo para los tipo H, por lo que en este apartado solo se expresan los resultados gráficos de cada caso analizado.

Desgaste en g/kWh en función de A_i

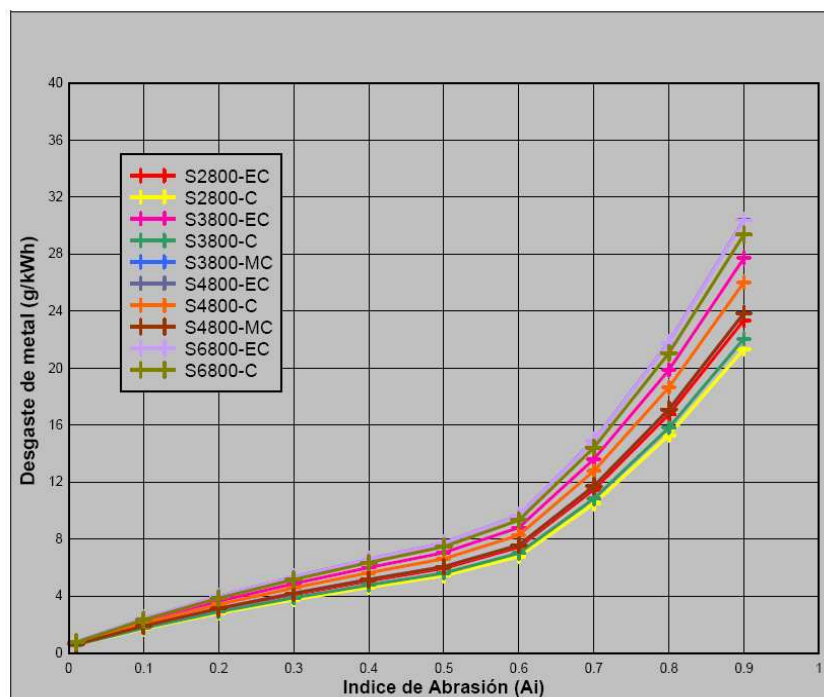


Figura 4: Desgaste piezas Hidroconos S (g/kWh) en función del Índice de Abrasión.

Desgaste en g/t en función Ai

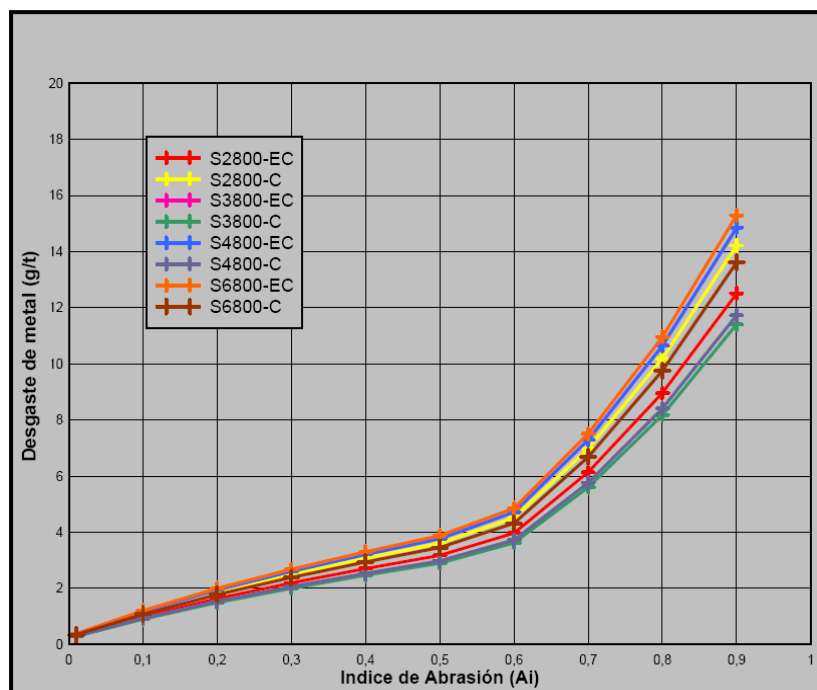


Figura 5: Desgaste piezas Hidroconos S (g/t) en función del Indice de Abrasión.

Desgaste en , g/t en función del tamaño final d80 obtenido.

Se ha encontrado el mismo tipo de anomalía ya expuesto para los Hidroconos H.

Desgaste Trituradoras de Mandíbulas.

La metodología para aplicar al estudio de machacadoras de mandíbulas es la misma que para los conos. Debido a que la información que suministra el programa no varía de un tipo de maquina a otra, se empleó el mismo proceso que en los casos anteriores.

Desgaste en kWh en función de Ai.

Se estudiaron los modelos de trituradora de mandíbulas, obteniendo estos resultados:

Tabla 8: Desgaste de metal en de la potencia consumida (g/kWh).

Ai	JM806	JM907	JM1108	JM1208	JM1211	JM1312	JM1511	JM1513
0,01	2,895	3,578	2,486	2,455	3,253	2,844	3,076	3,376
0,1	9,048	11,182	7,770	7,671	10,166	8,889	9,613	10,550
0,2	14,931	18,454	12,823	12,660	16,777	14,669	15,865	17,410
0,3	20,015	24,737	17,189	16,970	22,490	19,664	21,266	23,338
0,4	24,640	30,454	21,161	20,892	27,687	24,208	26,181	28,731
0,5	28,953	35,783	24,865	24,548	32,533	28,445	30,763	33,759
0,6	36,191	44,729	31,081	30,686	40,666	35,556	38,453	42,198
0,7	55,985	69,194	48,080	47,469	62,908	55,003	59,486	65,279
0,8	81,697	100,972	70,162	69,270	91,799	80,264	86,805	95,259
0,9	114,020	140,920	97,921	96,676	128,119	112,020	121,149	132,948

Con estos datos se han representado gráficamente las ocho curvas:

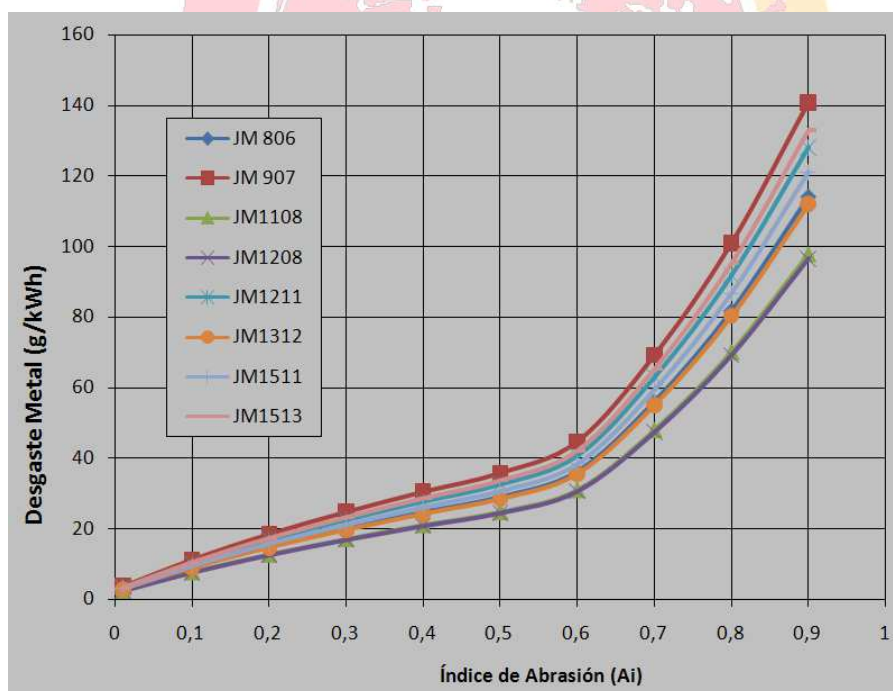


Figura 6: Desgaste piezas Trituradora de Mandíbulas (g/kWh) en función del Índice de Abrasión.

Desgaste en g/t en función de Ai

Se impusieron las mismas condiciones que se aplicaron en el caso de los Hidroconos tipo H.

Se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 9: Desgaste de metal en función de la producción (g/t).

Ai	JM806	JM907	JM1108	JM1208	JM1211	JM1312	JM1511	JM1513
0,01	1,300	1,652	1,176	1,271	1,498	1,023	1,189	1,076
0,1	4,062	5,161	3,676	3,971	4,681	3,196	3,715	3,362
0,2	6,704	8,517	6,067	6,553	7,725	5,274	6,131	5,549
0,3	8,986	11,417	8,132	8,785	10,355	7,070	8,219	7,438
0,4	11,063	14,056	10,012	10,815	12,748	8,704	10,118	9,157
0,5	12,999	16,515	11,764	12,707	14,979	10,227	11,889	10,760
0,6	16,249	20,644	14,705	15,884	18,724	12,784	14,861	13,450
0,7	25,136	31,936	22,748	24,572	28,965	19,776	22,990	20,806
0,8	36,136	46,602	33,195	35,857	42,267	28,859	33,548	30,361
0,9	51,193	65,040	46,328	50,044	58,990	40,277	46,821	42,374

Se han representado gráficamente los resultados:

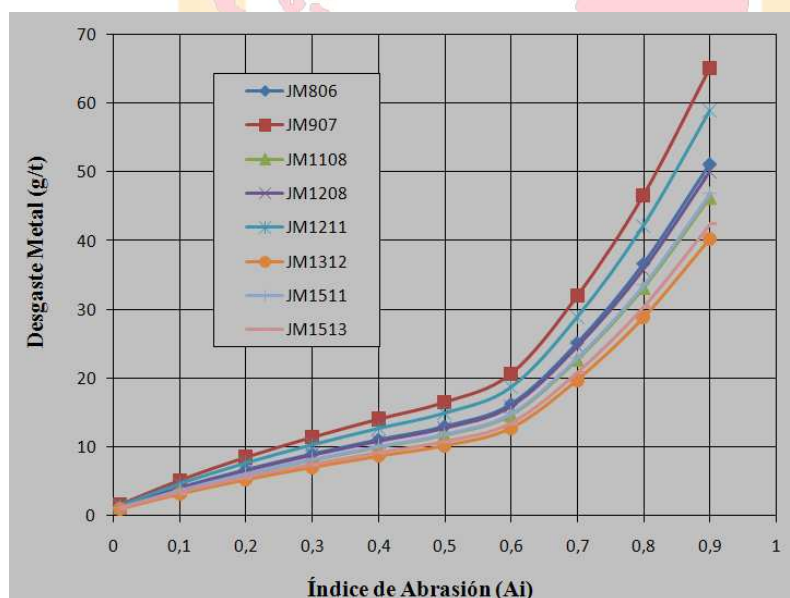


Figura 7: Desgaste piezas Trituradora de Mandíbulas (g/t) en función del Índice de Abrasión.

Desgaste en función del tamaño de salida.

Para la realización de este apartado se fijaron las mismas condiciones que en el caso correspondiente a los Hidroconos. Se obtuvieron los siguientes resultados referentes al desgaste, que son coherentes con los reglajes (CSS).

Tabla 10: Desgaste de metal en (g/t). En función del tamaño de salida d80.

CSS	JM806	JM907	JM1108	JM1208	JM1211	JM1312	JM1511	JM1513
50	19,492	32,973						
75	13,012	22,004	15,675	16,940				
100	9,751	16,515	11,757	12,715				
125	7,799	13,232	9,410	10,172	14,981	12,272	14,278	
150	6,500	10,999	7,842	8,466	12,479	10,230	11,891	12,550
175	5,570	9,449	6,726	7,265	10,693	8,767	10,195	10,759
200			5,877	6,358	9,361	7,676	8,912	9,412
225			5,234	5,644	8,318	6,822	7,919	8,368
250				5,082	7,486	6,136	7,133	7,536
275				4,621	6,805	5,581	6,486	6,847
300						5,115	5,939	6,277

Se representaron estos valores obteniendo las siguientes curvas, que permiten estudiar la variación del desgaste en relación con el d80, para cada machacadora:

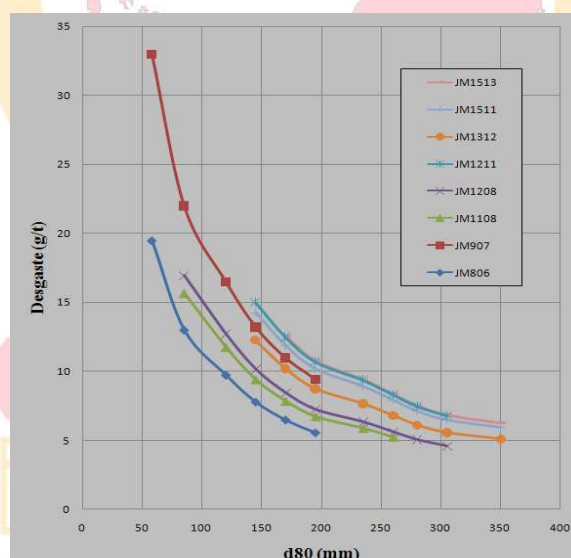


Figura 8: Desgaste piezas Trituradora de Mandíbulas (g/t) en función del Tamaño de Salida.

4.-CONCLUSIONES.

Según las referencias bibliográficas existe una relación lineal entre los A_i típicos de las rocas y los desgastes producidos en los equipos de trituración en g/kWh o g/t de mineral tratado.

Analizadas las representaciones gráficas de este Estudio, se comprueba que, aunque efectivamente hay una relación lineal aparente, existen dos tramos lineales con distinta pendiente, con cambio en $A_i \approx 0.6$. La pendiente del primer tramo es menor que la de la recta de Bond, mientras que la del segundo (rocas más abrasivas) es mayor.

Si se compara la pendiente obtenida de la recta por la fórmula de Bond con la de la línea de tendencia correspondiente a los datos de un determinado modelo de trituradora, se comprueba que esta última difiere con la de Bond en menos del 0,8% en el caso de hidroconos y del 3% en el de machacadora de mandíbulas. Sin embargo, los valores del consumo de acero del Estudio actual son más precisos.

Gracias a los datos obtenidos se pueden estimar los consumos, en gramos, de los forros por kWh consumida o por tonelada producida, de una instalación que cuente con una trituradora tipo Hidrocono S o H o Mandíbulas JM. Al comprobar el funcionamiento de una planta de tratamiento, se podrá saber si la trituradora está funcionando adecuadamente o es necesario optimizar el rendimiento de la operación.

Las curvas de desgaste referidas al tamaño de salida (d_{80}) en trituradoras de mandíbulas no presentan el cambio brusco de pendiente que se produce en las curvas de desgaste referidas al A_i . Al no existir dicho cambio de pendiente, podrá predecirse el comportamiento para todo el rango de valores de d_{80} . Estas curvas permitirán conocer la variación del consumo en una instalación si hubiera que modificar el tamaño de salida del producto triturado.

5.- ESTUDIO 2010: COMPARACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN 2004 Y 2008/09. RECOMENDACIONES

El trabajo realizado en 2010 ha sido analizar las posibles correlaciones entre los resultados obtenidos en los estudios de 2004 y 2008/09 para orientar las acciones futuras en la investigación del consumo de aceros en fragmentación de áridos. A este fin se han preparado una serie de tablas comparativas para los diferentes parámetros que influyen en el desgaste de acero

Tabla 11: Comparativa de Rocas ensayadas o estudiadas.

Parámetro	Estudio 2004	Estudio 2008/2009
Gravas Silíceas	Sí (4)	No
Corneanas (Hornfels)	Sí (2)	No
Granitos	Sí (3)	No
Rocas predeterminadas por Ai	No	Sí

Tabla 12: Comparativa de Parámetros de Rocas a triturar.

Parámetro	Estudio 2004	Estudio 2008/2009
SiO ₂ Libre	Sí	No
Abrasividad (g/t)	No	No
Índice de Abrasión (Ai)	No	Sí
Ensayo de Los Ángeles	Sí	No
Triturabilidad %	No	No
Índice de Trabajo (Wi)	No	No
Densidad real	Sí	Sí

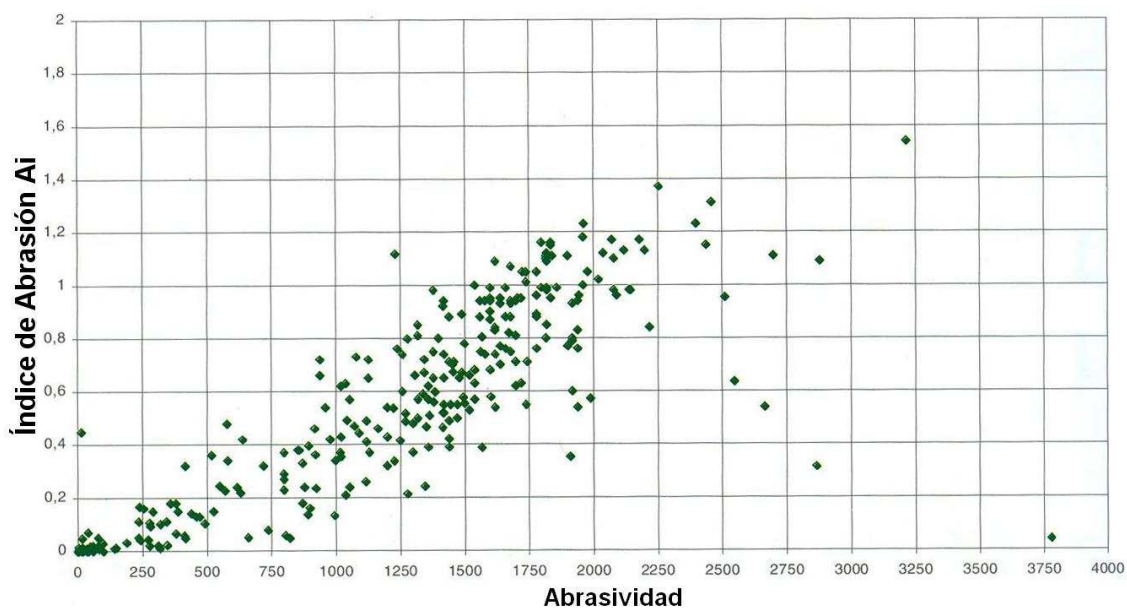


Figura 9: Correlación entre Índice de Abrasión Ai y Abrasividad (g/t).

Después de analizar la gráfica representada en la Figura 9: Correlación entre Índice de Abrasión Ai y Abrasividad (g/t), se puede concluir que entre la Abrasividad y el Índice de Abrasión existe una correlación que cumple la siguiente regla $Abr = 2000 \times Ai$.

Tabla 13: Valores de SiO₂ libre, Ensayo de Los Ángeles, Abrasividad (g/t) y Equivalencia en Ai.

	PLANTA	SiO ₂	Los Ángeles	Abrasividad (g/t)	Indice Ai
Corneanas	5	34±2	9,5%		-
"	6	23±2	13,2%		-
"	ARVISA	33	9 a 11%	1.398	0,699 equivalente
"	Bibliografía	-	-	-	0,7

Tabla 14: Comparativa de Fragmentadoras ensayadas o estudiadas

Trituradora o Molino	Estudio 2004	Estudio 2008/2009
Mandíbulas Simple biela (efecto) 1ª	Sí (2 C)	Sí
Mandíbulas Simple biela (efecto) 2ª	Sí (1GS)	Sí
Cono 2º	Sí	No
Cono 3º	Sí	No
Hidrocono 2º	Sí (1GS)	Sí
Impactor de Eje Horizontal 1ª	Sí	No
Impactor de Eje Horizontal 2ª	Sí	No
Impactor de Eje Vertical	Sí	No

Tabla 15: Comparativa de Parámetros de las Fragmentadoras.

Parámetro	Estudio 2004	Estudio 2008/2009
Tamaño de boca de admisión	Sí	Sí
Reglaje	Sí	Sí
Producción t	Sí	Sí
Potencia del motor	Sí	Sí
Potencia consumida	No	Sí

Tabla 16: Comparativa de Parámetros para cuantificar el Desgaste.

Parámetro	Estudio 2004	Estudio 2008/2009
Peso de los revestimientos nuevos	Sí	Sí
Peso de los revestimientos desechados	Sí	Sí
Vida útil de los revestimientos (h)	Sí	Sí

Tabla 17: Comparativa de Parámetros de las Fragmentadoras.

Parámetro	Estudio 2004	Estudio 2008/2009
Marca y Modelo	Triman	Sandvik JM1211
Tamaño de boca de admisión	1.300 x 1045 mm	1200x1100 mm
Reglaje	120 mm	125 mm
Caudal t	220 t/h	300
Velocidad de la Trituradora en rpm	200	210
Peso	52 t	56,9 t
Potencia del motor	220 CV	217 CV
Aprovechamiento en peso de las mandíbulas móvil y fija	60,50% 47,00%	No se indica
Duración mandíbula fija	420 h	263 h
Duración mandíbula móvil	840 h	464 h
Desgaste en g/t	10,7	28,965
Tipo de acero	Cromo-Molibdeno	No se indica

BIBLIOGRAFIA

Ashby, M.F. and Jones, D. (1999) Engineering Materials. An Introduction to Microstructures, Processing and Design. Butterworth Heinemann.

Blanc, E. (1975) Machacadoras y granuladores. Ed. Rocas y Minerales.

Blazy, P. (1997) El Beneficio de los Minerales. Ed. Rocas y Minerales.

European Symposia on Size Reduction (1962). Frankfurt. Ed. Verlag Chemie, 1962

Fueyo Casado, L. (1999) Equipos de Trituración molienda y clasificación: tecnología, diseño y aplicación. Ed. Rocas y Minerales.

Izquierdo, J.L. (2005) Artículo "Criterios de elección de aceros y fundiciones para los equipos de trituración". Revista Rocas y Minerales, número 397.

Komar Kawatra, S. (1987) Comminution Practices.

López Jimeno, C. (1998) Áridos Manual de Prospección explotación y aplicaciones.

Lynch, A.J. (1980) Circuitos de trituración y molienda de minerales: Su Simulación, Optimización, Diseño y Control. Ed. Rocas y Minerales.

Macquiston, F.W. (1975) Primary crushing plant design. Ed. Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining , Metallurgical, and Petroleum Engineers.

Menéndez Aguado, J.M. (2000) "Tesis Doctoral Aplicación de la Simulación Matemática a la Determinación de Consumos Energéticos en Fragmentación". Escuela de Ingenieros de Minas de la Universidad de Oviedo.

Metso Minerals (2000), "Diseño de Instalaciones de Áridos" Cátedra ANEFA de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid.

Pero-Sanz Elorz, J.A. (2004) Aceros: metalurgia física, selección y diseño. Ed. CIE Inversiones Editoriales Dossat.

Prasher, C.L. (1987) Crushing and grinding process handbook. Ed. John Wiley & Sons.

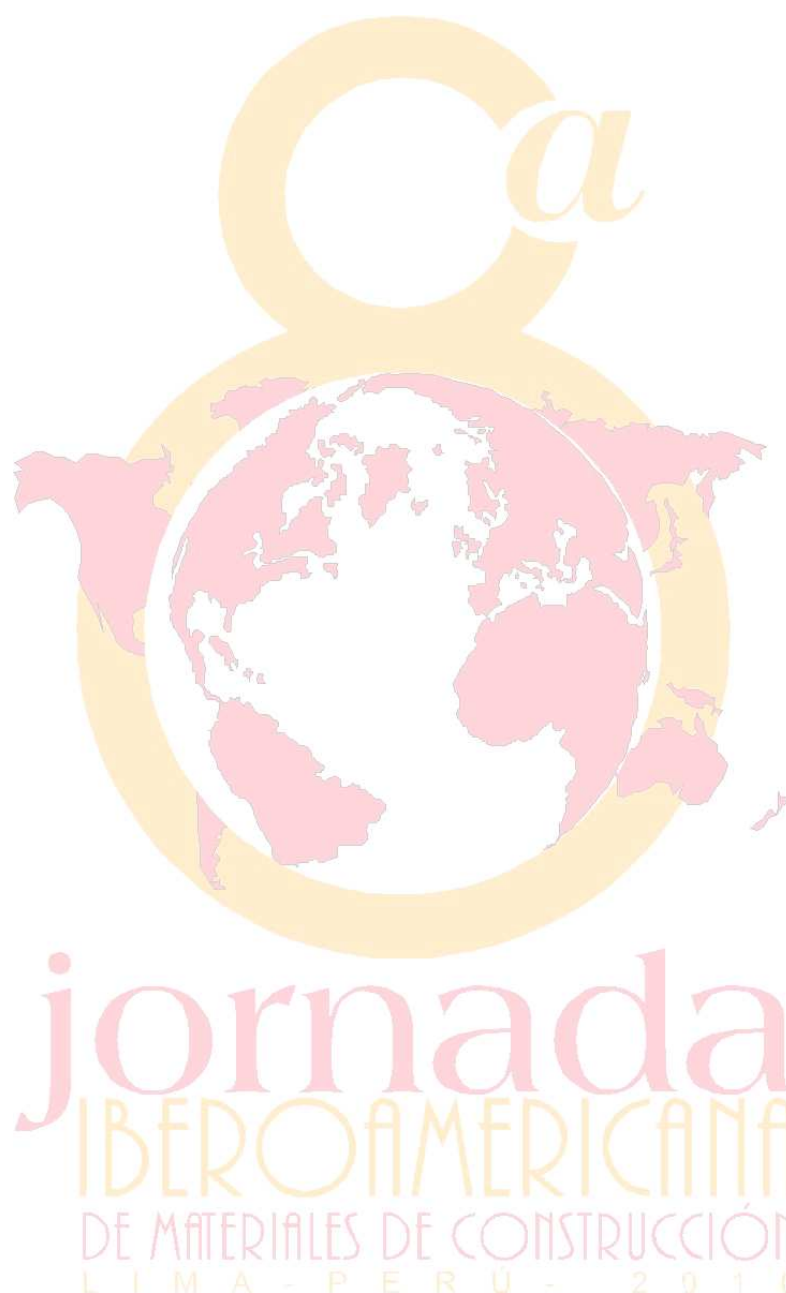
Pryor, E.J. (1978) Mineral processing. Ed. Applied Science.

Smith, E.H. (2000) Mechanical Engineer's Reference Book. Butterworth Heinemann.

Targan, G. (1981) Mineral Processing. Akademiai Kiado,

Weiss, N.L. (1985). SME Mineral Processing Handbook. Ed. Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining , Metallurgical, and Petroleum Engineers.

Wills, B.A. (1997) Mineral Processing Technology. Ed. Butterworth-Heinemann, Oxford.



ARIDOS DE EXPLOTACION PRIMARIA DE LA FORMACIÓN BALCARCE: BLOQUES CEMENTICIOS ALTERNATIVOS PARA EL HÁBITAT POPULAR EN EL MARCO DE UN MODELO DE GESTIÓN UNIVERSIDAD-EMPRESA.

Fernando Cacopardo (1), María Inés Cusán (2), Javier Leggiero (3), Ariel Ondartz (4) y Mónica Ruggiero (5)

(1) *Universidad Nacional de Mar del Plata, Consejo Nacional de Investigaciones científicas y tecnológicas (CONICET), Funes 3350, Mar del Plata, Argentina. E-mail: fcacopar@mdp.edu.ar*

(2) *Universidad Nacional de Mar del Plata, Funes 3350, Mar del Plata, Argentina. E-mail: manes0000@gmail.com*

(3) *Canteras Yaraví S. A., Av. F - sin número, 7605. Estación Chapadmalal, Buenos Aires, Argentina, E-mail: leggiero@canterasyaravi.com.ar*

(4) *Universidad Nacional de Mar del Plata, Funes 3350, Mar del Plata, Argentina. E-mail: arielondartz@yahoo.com.ar*

(5) *Canteras Yaraví S. A., Av. F - sin número, 7605. Estación Chapadmalal, Buenos Aires, Argentina, E-mail: mtrgeoambiental@canterasyaravi.com.ar*

I. INTRODUCCIÓN

El tema de esta investigación, materiales de reciclado para la construcción y tecnologías apropiadas en una perspectiva ambiental, se inscribe en un marco conceptual más amplio, al cual pertenece: por un lado, el de la pobreza urbana en Argentina y la región y por otro la búsqueda de modelos de gestión alternativos interinstitucionales, en este caso la articulación universidad-empresa. Cada uno de estos aspectos implica un amplio marco de experiencias que sirven de base a la experiencia que aquí se presenta.

En el contexto específico de este congreso solo haremos unas referencias que consideramos centrales para la argumentación de esta presentación y que permite situar esta presentación sobre la utilización de áridos en un contexto que trasciende lo técnico.

I.1. Pobreza en América Latina

Hay dos aspectos relevantes que señalar con respecto a la pobreza en la región, en referencia a América Latina y Caribe, en las últimas dos décadas. Uno de estos aspectos es que se ha incrementado notablemente desde 1980 (ver Cuadro 1); el otro aspecto está referido a las características de la pobreza: a partir de la década de los noventa, la pobreza urbana se incrementó, predomina y supera a la rural.

Cuadro 1: Pobreza en América Latina y Caribe (Número de pobres, en millones).

año	total	en % del total	urbana	en % del total urbano
1980	135,9	40,5%	62,9	29,8%
1990	200,2	48,3%	121,7	41,4%
1999	211,4	43,8%	134,2	37,1%

Fuente: Elaboración propia a partir de Kozulj, R., 2003: Cuadro N° 1.1

Según Kozulj (2003:2) la pobreza urbana genera rápidamente “situaciones de marginalidad y exclusión social” más graves en comparación con la rural. Las consecuencias se transforman en un conjunto de situaciones que afectan la integridad de las personas: pérdida de identidad, de empleo, violencia familiar, alcoholismo, drogadicción, etc., todos factores de exclusión social conviviendo con otros sectores sociales que sí tienen acceso moderadamente a situaciones de una vida más digna. Este autor señala también que según los países hay disparidad de cifras, con valores tan diferentes como el de Honduras (80% de la población total) y el de Uruguay (cerca al 20%), y que “el grueso de la problemática la representan los pobres urbanos de los países más grandes: Brasil, México, Colombia, Venezuela Argentina y Perú dan cuenta del 79% del total de pobres y del 85% de los pobres urbanos de la región” (op.cit.:3). Entre las principales causas de esta pobreza, el autor menciona, entre las que se relacionan con las políticas públicas y habitacionales, a los “procesos de urbanización acelerada” y la “omisión o ausencia de [...] servicios apropiados de educación, salud y programas de vivienda” (op.cit.:8).

En Argentina y según la información censal del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INDEC (2001, 2003), la crisis de los años 2001-2002 generó un violento y rápido proceso de empobrecimiento y consolidación de la pobreza estructural en Argentina, especialmente la urbana, arrojó alarmantes cifras: 20,8 millones de pobres en Argentina en 2001: 57,7% de la población urbana bajo la línea de pobreza, 27,5% apenas podía conseguir los alimentos mínimos necesarios para subsistir. Entre mayo del 2002 y octubre la cantidad de pobres creció el 14,7% y la de indigentes el 11,2%. En el Total país, los pobres urbanos sumaban 19.678.000 y los Indigentes 9.411.000. En Argentina entre octubre del 2001 y mayo del 2002, 5,2 millones de personas se convirtieron en pobres.

Si bien en los últimos años ha cambiado la situación laboral y económica del país, en la actualidad, y también según datos del INDEC (2008), la pobreza de la población urbana de Argentina se situó en el 17,8 por ciento a finales del primer semestre del 2008, lo que representa una baja de 2,8 puntos respecto a los datos de finales de 2007. El INDEC precisó que a finales de junio pasado 4,3 millones de argentinos que habitaban en zonas urbanas no alcanzaban a satisfacer sus necesidades mínimas de alimentación, salud, vivienda, educación, transporte y otros servicios básicos; y el 5,1 por ciento de la población urbana, lo que equivale a 1,2 millones de personas, es indigente, es decir que ni siquiera puede alimentarse adecuadamente. Una de las áreas urbanas con mayor cantidad de población es el Conurbano Bonaerense, donde vive la mitad de los pobres del país. En el 2003

fueron identificados como pobres estructurales 1.042.000 hogares (27%), que significan 4.365.000 personas (34%), lo cual configura al área como la de mayor concentración de pobreza estructural del país (Ieco, 2007).

La gravedad de estos datos cuantitativos es alarmante, y peor aún, tomar cabal conciencia de la verdadera magnitud (cuantitativa y cualitativa) de la pobreza urbana argentina, de la complejidad de sus características y de los cambios estructurales que a todo nivel harían falta.

1.2. Conceptualización de pobreza y modelos de gestión.

La discusión sobre la conceptualización de pobreza tiene un largo desarrollo y constituye uno de las problemáticas más centrales de América Latina. Alicia Gutiérrez (2004), aporta una visión de este debate a partir de las primeras décadas del siglo XX, con especial énfasis desde los años sesenta en Latinoamérica. Más allá del problema de construir estadísticas para medir la dimensión de la pobreza - aproximaciones de línea de pobreza (LP), línea de indigencia, necesidades básicas insatisfechas (NBI)- nos interesa enfatizar sobre la crítica, ahora más instalada en el ámbito académico, a la difundida noción de “marginalidad”. Los equívocos en torno a las dualidades margen-integración o margen-centro que refieren a una exterioridad de la pobreza que desplaza el eje teórico-analítico que nos parece más fecundo: el que se pregunta sobre las formas de estar situados “en el sistema”, las prácticas y redes de relaciones de estos grupos sociales y sus articulaciones con el resto de la sociedad.

En este marco nos interesa debatir y proponer nuestro trabajo, en nuestro campo disciplinar la línea de debate y prácticas que por ejemplo proponen Ortecho.L (2007:15) y Pelli.V (2007:45). Enrique Ortecho considera que “lo tecnológico alternativo (...) tiene que tener rasgos que deben considerar, en lo posible, la integralidad del problema de la pobreza.”

En este mismo orden de argumentación, Víctor Pelli sitúa el problema habitacional “como un componente de bordes difusos dentro de la situación general de pobreza, cómo ésta se produce y se presenta en nuestros países latinoamericanos...”. En este sentido, Pelli, sitúa en este marco su propuesta de gestión participativa, sostiene que “las estrategias habitacionales más usuales y numerosas hacia el final del siglo XX [...] se circunscriben a la provisión de bienes y servicios destinados a resolver los déficit de satisfactores habitacionales tangibles...” (op.cit.:48) sin tener en cuenta los “intangibles”.

Aunque reconoce algunos avances por parte de algunos institutos provinciales de vivienda en cuanto a la puesta en marcha de modelos de gestión, no totalmente participativos pero sí diferentes a la modalidad tradicional, aclara que “...esta innovación se ha encontrado con las serias dificultades que ha tenido la institución para poner estos programas a cargo de una estructura administrativa, y de personal técnico, que han sido preparados y capacitados para la gestión “tradicional” (op.cit.:89).

En síntesis, se consideran como avances a los siguientes: mayor articulación interactoral; mejor formación técnica para los actores institucionales involucrados en la problemática socio-habitacional; concebir el tema como “procesos socio-políticos” y no sólo técnicos o tecnológicos; innovaciones en las “modalidades constructivas, productivas y de financiamiento”; permitir acciones y mecanismos para procesos de co-gestión de las acciones, permitiendo que participen actores, empresas -en el marco de responsabilidad social empresarial-, organizaciones de la sociedad civil y los beneficiarios.

Consideramos a estos avances de discusión centrales para pensar modelos de gestión posibles, transferibles y asimilables. La investigación resumida en este trabajo tiene por fin realizar aportes a la discusión de modelos y estrategias que impliquen generación de materiales y tecnologías sociales posibles con base territorial. En ese sentido, el territorio no es simplemente un soporte físico donde acontece la historia, sino un espacio relacional con una identidad particular y compleja (Cacopardo, 2007, 2001), que se constituye históricamente por el cruce de dimensiones materiales, económicas, políticas, sociales, poblacionales, habitacionales, culturales. No hay proyecto posible de desarrollo sin un conocimiento de esta base territorial (Boisier: 2002).

El desarrollo de gestión de tecnologías posibles tiene a nuestro entender en la variable territorial un apoyo sustantivo para el desarrollo de sus prácticas. En nuestra hipótesis constituye el fundamento para poder trabajar con un proceso de transferencia y asimilación de materiales y tecnologías en un marco de desarrollo local a escala humana.

Finalmente dos preguntas que hacen a la base conceptual y práctica de nuestro trabajo.

¿Por qué un programa interdisciplinario? Siguiendo los fundamentos y argumentos planteados en la introducción, un programa de hábitat y vivienda en este contexto se tiene que situar en el contexto más global del problema de la pobreza. Por lo cuál proponemos un programa interdisciplinario de Hábitat y Ciudadanía, con proyectos en áreas de salud, derechos humanos, laboratorio de construcción, capacitación y producción familiar, legalización de tierras, documentación y modelo de diagnóstico territorial en SIG: Mapa de problemas y recursos territoriales (riesgo habitacional y detección de capital humana y social)

¿Por qué cogestión? Nos interesa aquí la idea de desarrollo local a escala humana. Frente a un estado en general ausente de estos problemas, la cogestión, es a nuestro entender la puerta de posibilidad de construir una sinergia más amplia entre otros actores, el conjunto de la sociedad civil, las empresas y los territorios (Boisier: 2002), un tejido de redes personales-sociales-institucionales, más allá de los límites más o menos formales o institucionalizados.

Así surge de nuestra práctica.

Por ello este trabajo específico se articula con una prueba piloto concreta, entre la Universidad Nacional de Mar del Plata y la empresa Yacimiento Minera Canteras Yaraví S.A., que aporta los materiales de piedra y polvo de piedra (0,6 y 0,12) para la experiencia, en un marco de responsabilidad social empresarial.

1.3. Cuarcititas de la formación Balcarce, bloques cementicios y tecnologías apropiadas para el desarrollo local.

En el precedente marco referencial el presente trabajo abordará la problemática relacionada al desarrollo de procesos tecnológicos alternativos, para dar respuesta a la demanda creciente de viviendas de interés social, a partir de la utilización de insumos de poco valor relativo dentro del proceso tradicional de producción y comercialización, sumado a materiales provistos a partir del recupero del proceso de consumo, como son las botellas PET. En este sentido nos interesa insertar este trabajo en una perspectiva ambiental, en el debate internacional sobre el problema de reciclados de áridos (Parra JL, Gómez JC y otros: 2007).

En nuestro caso, nos interesa sumar a este debate desde el campo de conocimiento del hábitat popular, claramente identificado con la informalidad y la pobreza, tiene como una de sus problemáticas más centrales el desarrollo de tecnologías apropiadas, es decir, de tecnologías de rápida asimilación por parte de los beneficiarios, que empleen materias primas de fácil accesibilidad.

¿Qué implica para nosotros referir a tecnologías apropiadas? ¿Cuáles son sus consecuencias prácticas?

La posibilidad de desarrollar sistemas constructivos alternativos a una construcción tradicional, de muy difícil acceso por parte de grupos en riesgo, implica establecer un conjunto de premisas básicas. Aquí se plantean como importantes las variables de factibilidad económica de producción de los elementos constitutivos y la adecuación real del valor final diferencial y competitivo de estos insumos.

Por lo tanto, desarrollar procesos y materiales que permitan nuevas formas de producción de viviendas, con una fuerte incidencia de la autogestión asistida técnica y social, permitirá establecer una transferencia tecnológica real, asociada a una transmisión de conocimientos sistemáticos relacionados a la auto-elaboración de productos y técnicas de construcción.

La factibilidad y adecuación técnica de los productos, permitirá reconocer el correcto campo de aplicación de estas tecnologías, que incluirán prestaciones similares a las existentes en el mercado, pero cuya variable fundamental estará centrada en la condición de materialización económicamente diferencial, dentro de un mercado altamente competitivo como es el de la construcción.

En primer término una posibilidad económica diferencial de producción, y por ende, de accesibilidad hacia los beneficiarios directos, lo que permite una rápida respuesta a la deficiencia habitacional y la posibilidad de reducción de riesgos críticos asociados a la inexistencia de condiciones dignas de habitabilidad. En segundo

término, lograr un producto cuyas propiedades y prestaciones frente a las solicitudes que le son propias a su función, cumplan con los estándares adecuados en pos de reducir los riesgos de utilización. Un tercer elemento a destacar, central en nuestra perspectiva, refiere a la utilización de un producto de bajo costo y alta disponibilidad en el mercado, como es el caso de las cuarcitas de la formación Balcarce.

Aquí planteamos entonces la pregunta problema de este trabajo:

¿Qué condiciones de viabilidad productiva y constructiva poseen los bloques elaborados con agregado de piedra y polvo de piedra, como elementos sustitutivos de la fabricación tradicional de estos bloques de hormigón, a partir del análisis de sus prestaciones frente a las solicitudes, su análisis de costo frente a otros materiales similares del mercado y su posibilidad de auto-producción semi-industrial para el desarrollo barrial?

Esta exploración se sitúa en el marco de los siguientes objetivos.

Desarrollar la producción de bloques de hormigón, que permitan una alta transferencia tecnológica y que den respuesta adecuada a las condiciones deficitarias existentes en el hábitat popular, a partir de la utilización de insumos ecológicamente viables y otros que son productos de los procesos de explotación de materias primas relacionadas a la industria de la construcción.

En forma más específica:

Establecer los parámetros de resistencia a las solicitudes y las propiedades constitutivas de los bloques compuestos con piedra y polvo de piedra y triturado de plástico, para poder establecer su función dentro del sistema vivienda.

Identificar los porcentuales de ahorro que nos permite obtener la utilización de materiales sin costo de comercialización y otros autogestionados a partir del recupero para elaborar estos bloques, estableciendo una comparación con productos similares tradicionales existentes en el mercado.

Reducir al máximo la posibilidad de patologías constructivas surgidas a partir de una mala ejecución del sistema murario por parte de los beneficiarios, a partir de la elaboración de un plan de capacitación específico, que permita identificar las particularidades de estos bloques de hormigón alternativos.

Determinar las condiciones de desarrollo de los nodos productivos de bloques para permitir la replicabilidad de estas propuestas en distintos barrios con características de vulnerabilidad social.

1.3.1. El bloque de hormigón en la industria de la construcción

Ventajas frente a otros productos que cumplen misma función:

Menor espesor de revoque, debido a una terminación más pareja de la superficie del bloque y a una menor cantidad de juntas con respecto a los ladrillos comunes. Incluso en algunos bloques con terminaciones texturadas o de óptima terminación no es necesario revocar.

Menor utilización de mezclas de asiento, debido al tamaño del bloque. Este ahorro es mayor o menor dependiendo si lo comparamos con ladrillo común o ladrillo hueco de similar espesor.

Menor utilización de mano de obra en la ejecución, por utilizar menos cantidad de unidades por m² (12,5 unidades por m²)

Están normados y responden a una construcción modular, evitando desperdicios.

En el mercado existen bloques texturados, coloreados, con terminaciones moldeadas, entre otras con lo cual se demuestra su versatilidad y posibilidad de adecuación a los más exigentes proyectos arquitectónicos.

Proceso de elaboración – recomendaciones normativas:

La elaboración de bloques de hormigón se encuentra regulada por múltiples normas IRAM que establecen las recomendaciones de fabricación:

La norma con injerencia directa en relación a los bloques es la IRAM 11.561 que determina las definiciones, las condiciones de los bloques portantes y no portantes, los mecanismos de ensayo y las características de los muestreos.

Las normas IRAM 11.556 y 11.583 establecen los requisitos generales y las recomendaciones de ejecución de las mamposterías realizadas con bloques de hormigón, en este sentido la norma IRAM 1.676 determina qué tipo de morteros serán utilizados para estos casos y establece las relaciones adecuadas entre la suma de los volúmenes de los aglomerantes y la suma de los agregados.

Con respecto a la modulación las normas IRAM 11.612 y la 111.014 establecen las medidas de los bloques y sus sub-módulos, como la coordinación modular de estas mamposterías.ii

A su vez, los fabricantes de bloques de hormigón están agrupados en la Asociación Argentina del Bloque de Hormigón (AABH) que tiene como misión bregar por el desarrollo y la inserción de este producto tanto en la obra pública como privada.iii Entre este organismo, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) y el Instituto de Cemento Pórtland Argentino (ICPA) han desarrollado un programa de Certificación de Bloques y Adoquines de Hormigón que permite, mediante la aplicación y cumplimiento de los requisitos detallados en un Reglamento Técnico, poder lograr el Sello de Conformidad del Programa AABH-INTI-ICPA. Este aval es aplicado al producto y no al fabricante, y sus exigencias técnicas surgen de las Normativas IRAM citadas anteriormente.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Tal cómo se ha desarrollado en la fundamentación de la introducción, este trabajo inserta el análisis del uso de las cuarcitas de la formación Balcarce en la construcción en un marco más complejo. Por ello, materiales y métodos implicarán desarrollos específicos, por un lado el territorio de aplicación de la prueba piloto y por otro las experiencias técnicas de avance con los áridos y sus posibilidades técnicas y productivas.

II.1. Territorios de aplicación y formas de identificación de capital humano y social para los procesos técnicos y productivos.

Las pruebas piloto de los barrios Alto Camet y Monte Terrabusi, se ubican dentro de una extensa área que rodea al centro consolidado de la ciudad, y que se extiende por fuera de los límites ejidales, en terrenos bajo riesgo natural y social.

Alto Camet, está ubicado en el límite norte de la ciudad, dentro del ejido, el barrio limita al sur con el arroyo La Tapera y el aeropuerto y al norte con el Parque Camet. Corresponde a un sector comprendido en el espacio mayor de seis unidades delimitadas por el Censo Nacional de Población del año 2001 (radios 21, 28, 29, 30, 32 y 33 de la fracción 60). Tiene alta densidad urbana.

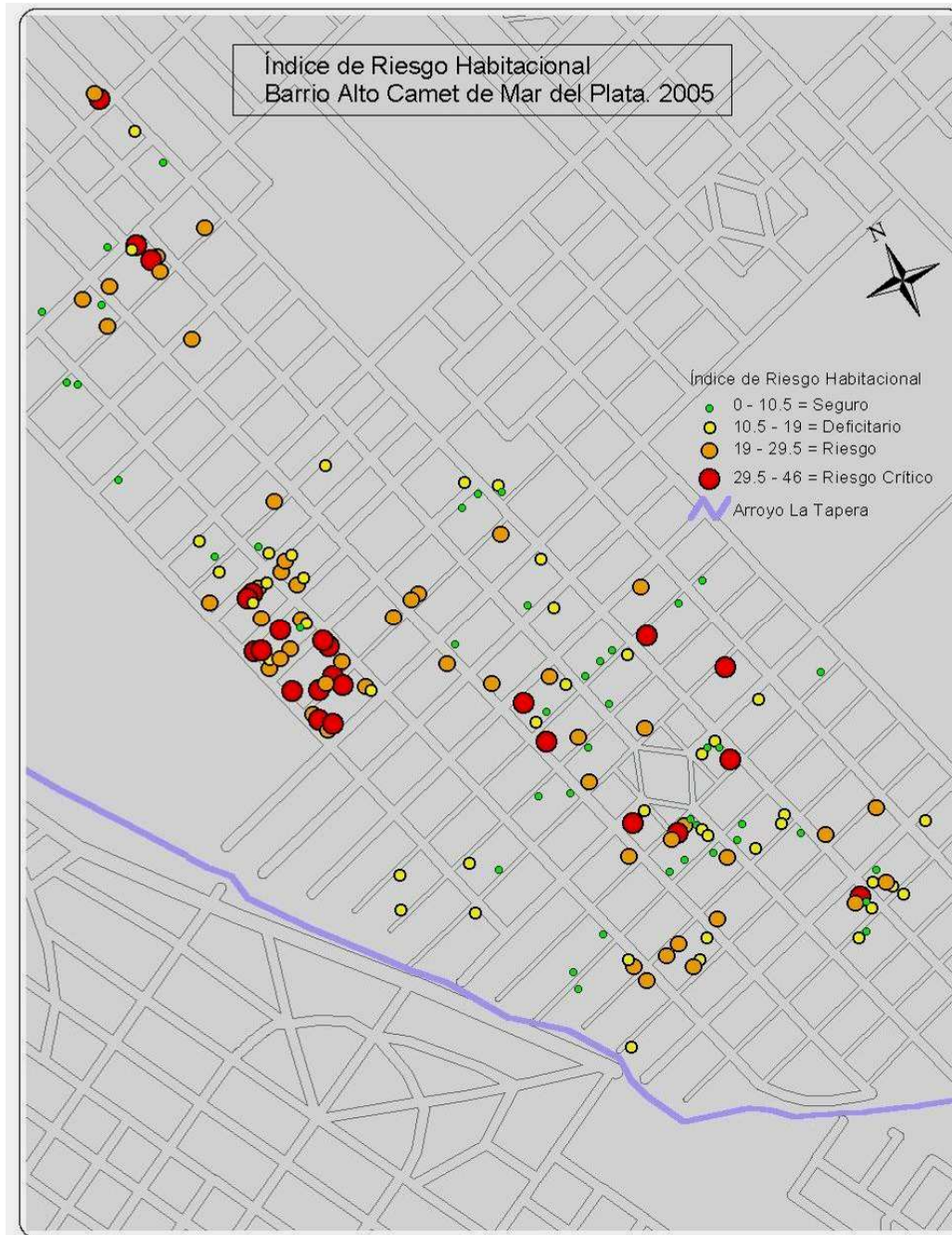
Monte Terrabusi, por el contrario, está situado sobre la avenida Antártida Argentina en el camino histórico a Miramar, continuación de la avenida Independencia. Está ubicado fuera del ejido, en territorio rural, depende en lo jurisdiccional de la delegación municipal del Puerto de Mar del Plata, y se encuentra entre el cementerio y el predio de disposición final de residuos. Esa delimitación define muy bien las características de este sector de territorio, de gran riesgo ambiental y con una mayoría de sus pobladores que trabajan como recuperadores del predio y en el cementerio (Riviere, I, Sabuda, F y otros: 2008).

Ambos territorios están ubicados en la categoría más perjudicada en el contexto social y ambiental de la ciudad, con magnitudes que se insertaban en la calificación de Muy Bajo Índice de Calidad de Vida y dentro de los mayores niveles de Necesidades Básicas Insatisfechas (Lucero, P; Riviere y otros, 2005).

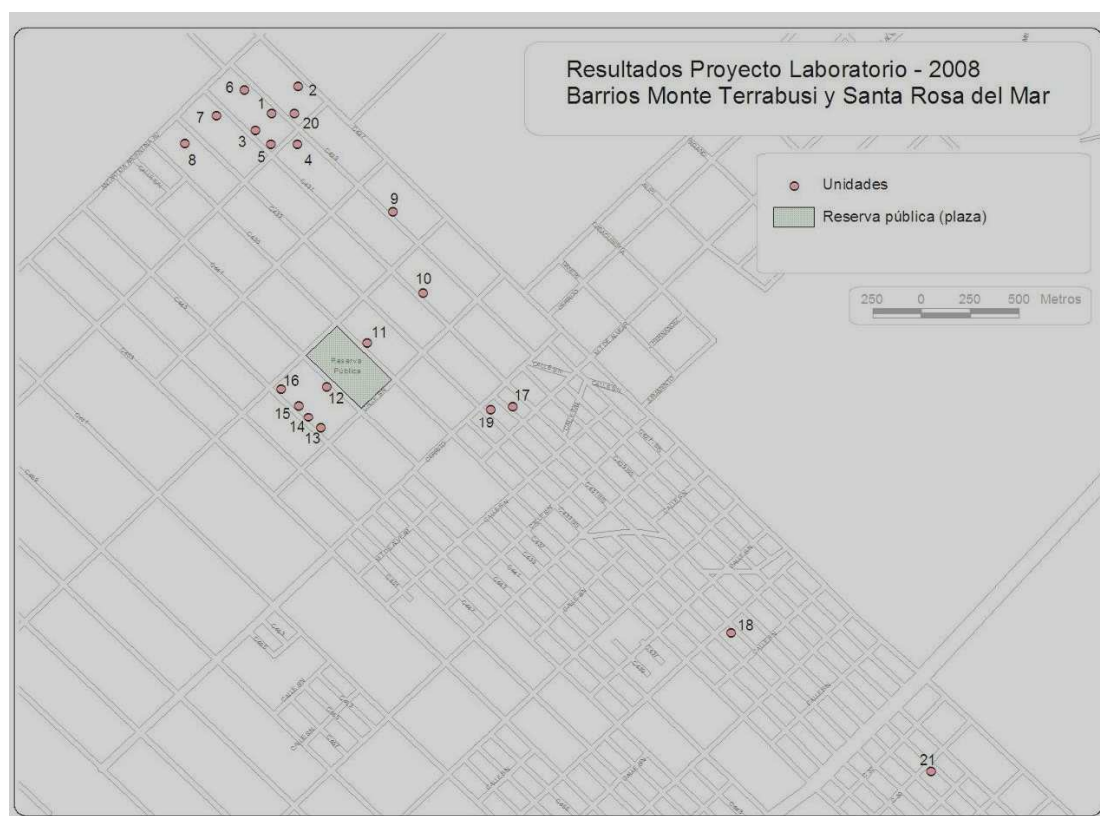
Las características generales del hábitat y las viviendas muestran una alta proporción de carencias estructurales y de servicios esenciales. En ambos barrios carecen de servicios básicos de agua, cloacas y gas. Las viviendas en sus expresiones más críticas, de chapa y madera, están en estado de emergencia y riesgo de vida por incendio, derrumbe y falta de condiciones mínimas para la vida desde derechos humanos básicos.

Todos estos atributos, sumados a la débil y muy fragmentada e ineficiente presencia y acción político-institucional, la más de las veces clientelar, se combinan de forma

tal que logran generar un círculo de reproducción de condiciones de vida deficitarias, críticas e inhumanas, ver situación de mapas de riesgo.



Mapa 1. Mapa de riesgo habitacional. Barrio Alto Camet.



Mapa 2. Mapa de riesgo habitacional. Barrio Monte Terrabusi.

Los datos del INDEC no resultan suficientes para comprender la magnitud del problema, ni tampoco su expresión territorial precisa. Los organismos oficiales y político clientelares, las instituciones privadas (iglesias, ONG), la asociación de fomento, otros programas de la UNMDP, conflictos históricos internos entre vecinos, donde la violencia es constitutiva de la geografía social, conforman en conjunto espacios de un capital social muy débil, difuso y solo puntualizado en redes de algunos clanes familiares. La capacidad de asociación no es fácil. También se observan dificultades respecto de representatividad o existencia de referentes reales a la hora de acuerdos de trabajo comunes.

A esto se suma una crítica situación social y habitacional. Según datos de elaboración propia, en Alto Camet sobre un total de 500 hogares relevados, el sector de asentamiento crítico está constituido por unas 8 manzanas de gran riesgo, 25 hogares sobre 164 del sector más comprometido están en situación de riesgo de vida (ver mapa 1). Monte Terrabusi, de características más rurales, y hogares con familias en mayor situación de abandono e indefensión, sobre 18 casos, 10 en riesgo muy crítico (ver mapa 2). En todos los casos, la producción es por proceso de autogestión y autoproducción de la vivienda con recursos posibles, chapa, madera, ramas, troncos, etc.

Variables utilizadas

Las variables que se han utilizado integran un mapa de riesgo habitacional y detección de capital humano y social, a elaborar en el formato final del Sistema de Información Geográfica (SIG) de los mapas, persiguen entonces un doble fin:

construir indicadores de riesgo a fin de identificar prioridades y gestionar acciones coparticipadas de desarrollo habitacional (universidad-estado-empresas-sociedad civil) según las características de cada familia, sus estrategias, sus capacidades y el universo cultural en que se desenvuelven.

conocer el carácter de estos grupos sociales en base al conocimiento del capital humano y social, a fin de contribuir a gestionar en forma participativa iniciativas que hacen a derechos ciudadanos básicos y la promoción ciudadana:

El dimensionamiento de estas variables principales ha dado lugar a dos módulos de entrevistas con un total de nueve campos de variables:

Módulo de entrevista de hábitat, de registro metodológico más cuantitativo, tiene cuatro campos de variables:

situación de tenencia y forma de acceso a la propiedad (encuesta)

proceso y forma de gestión de construcción del hábitat (entrevista)

pormenorizado registro técnico-constructivo, infraestructura y equipamiento (encuesta)

percepción de necesidades.

Módulo de capital social y humano, de registro metodológico cualitativo, tiene cinco campos de variables:

características y descripción del grupo familiar.

procedencia, itinerarios territoriales.

situación laboral

capacidades

capital social: integración en redes (familiares, barriales, institucionales)

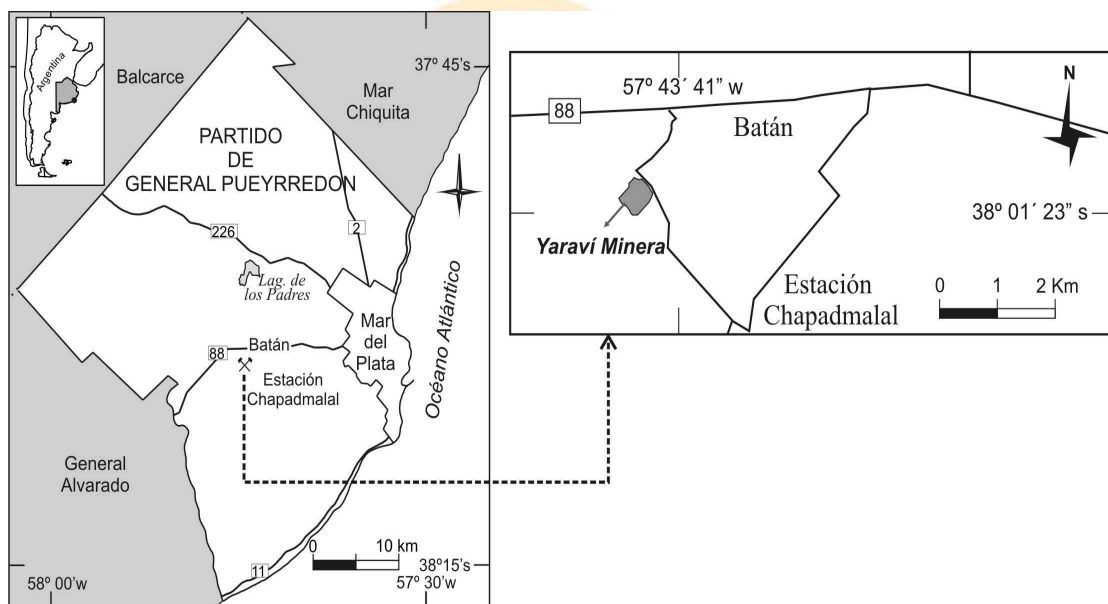
Previo test en seis casos en campo para ajuste del instrumento de entrevistas, se ha realizado un trabajo de selección de sectores y casos más precarios del barrio. Se ha trabajado también con el método biográfico y con registros fotográficos. Este

método es la base para la articulación territorial de materiales y tecnologías apropiadas para el desarrollo.

II.2. Cuarcititas de la formación Balcarce: ECO-BLOCK

II.2.1. ECO-BLOCK: Base cementicia, agregados y relaciones.

Definimos el Eco-Block como un bloque económico de base cementicia no portante, con agregados alternativos de plástico triturado y polvo de piedra cuarcita, fabricado modularmente según exigencias de la norma IRAM 11.612.



Mapa 3. Ubicación Yacimiento Canteras Yaraví S.A.

Características de los agregados utilizados:

Cemento Pórtland Normal: Aglomerante que tiene clara incidencia, junto con la relación agua/cemento, en la resistencia y durabilidad, sumado a una estabilidad volumétrica del bloque.

Polvo de piedra: Material de trituración de cuarcitita, agregado grueso que genera el "volumen" del bloque permitiendo disminuir el costo de la mezcla. Producto de la explotación de piedra proveniente de la cantera Yaraví S.A., ubicada a 2 km. de la ruta N° 88, Mar del Plata-Necochea, a 20 km. de la ciudad de Mar del Plata. Su litología está compuesta por cuarcitas de la Formación Balcarce de edad Cámbrico-Ordovícico (hace unos 400 a 500 millones de años). Se compone esencialmente de ortocuarcitas (areniscas con más de un 95% de cuarzo), conglomerados finos y pelitas caolníticas intercaladas.



Foto 1. Cuarcitita como agregado.

Triturado de plástico PET (polietileno tereftalato): Agregado grueso, cuya función primordial en la mezcla es alivianar el bloque gracias a su reducido peso específico (1,38 Kg/dm³), reemplazando la incorporación de polvo de piedra cuarcita (2,65 Kg/dm³) y arena (2,4 Kg/dm³). Este material se compone de 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire.

Aditivo acelerante de fragüe: Producto que permite modificar los tiempos normales de fragüe sin modificar las características de la mezcla.

Tabla 1: Materiales y relaciones utilizadas en la elaboración del eco-block frente al bloque tradicional.

		Eco-block	Bloque tradicional
Aglomerante		Cemento Portland Normal Cal	Cemento Portland Normal
Áridos	Tamaño máximo	18 mm	9,52 mm
	Contenido de finos	14,09% (cemento+cal)	8 a 15% (arena+cemento)
Relación Aglomerante-Áridos		1:6	1:8 a 1:12
Relación Agua-Cemento		0,44 (con aditivo)	0,6 0,35 a 0,45 (con aditivos plastificantes)

FUENTE: Elaboración propia - GIASUDH

Nota: En la relación Aglomerante-Áridos del Eco-block la dosificación fue medida por peso y no por volumen, ya que es el procedimiento utilizado en la fabricación industrial de los bloques comerciales de hormigón.

Pruebas de compresión

Sobre esta base se han realizado los primeros ensayos en probetas normalizadas de 15 cm. de diámetro por 30 cm. de alto, encabezadas con azufre. Han sido sometidas a ensayos de compresión en una prensa hidráulica.

III. RESULTADOS

III.1. ECOBLOCK con cuarcitas producto de explotación de áridos en canteras Yaraví S.A.: posibilidades técnicas y económicas.

Avances de resultados de primeros ensayos de compresión.

Tabla 2: Valores de rotura No portante –Mpa.

		Eco-block
Condición de carga		No portante
Resistencia a la compresión		16,9 Kg/cm ² (1,66 MPa)
Peso x unidad	Con plástico	12,00 Kg
	Sin plástico	13,80 Kg

Tabla 3: Valores de rotura Portante –Mpa.

		Eco-block
Condición de carga		Portante
Resistencia a la compresión		52,06 Kg/cm ² (5,11 MPa)
Peso x unidad	Con plástico	12,00 Kg
	Sin plástico	13,80 Kg

La norma IRAM “Bloques de Hormigón” N° 11.561 establece el umbral de 5 MPa para la condición de bloque portante.

La inclusión de plástico como agregado, en reemplazo del polvo de piedra, permite a partir de una relación 2:1 una reducción del peso del bloque de un 13,04%.



Foto 2. Ensayos de resistencia.

-Relación de costos entre eco-block y otros materiales similares del mercado

Tabla 4. Relación de costos entre eco-block y bloques y ladrillos del mercado de construcción.

		TIPO DE PARED					
		Eco-block 20x20x40	Bloque de H° liso portante 20x20x40	Bloque de H° simil piedra 20x20x40	Ladrillo cerámico portante 18x18x33	Ladrillo hueco 12 agujeros 18x18x33	Ladrillo común de 1° calidad 25,5x12,5x5,5
PESO (Kg)		12	15	18	7,4	6,5	2,3
PRECIO UNITARIO		\$ 3,25	\$ 7,60	\$ 10,58	\$ 4,04	\$ 3,27	\$ 0,71
CANT. DE UNIDADES (x m2)		12,5	12,5	12,5	15	15	90
\$ LADRILLO Y BLOQUES (x m2)		\$ 40,63	\$ 95,00	\$ 132,25	\$ 60,60	\$ 49,05	\$ 63,90
MORTERO DE ASIENTO (x m2)	Cemento	\$ 33,20 bolsa x 50 Kg	3,30 Kg	3,30 Kg	3,30 Kg	0,78 Kg	5,85 Kg
	Cal	\$ 13,95 bolsa x 20 Kg	1,50 Kg	1,50 Kg	1,50 Kg	3,00 Kg	5,60 Kg
	Arena	\$ 96,00 x m3	0,015 m3	0,015 m3	0,015 m3	0,027 m3	0,065 m3
\$ MORTERO DE ASIENTO (x m2)		\$ 4,68	\$ 4,68	\$ 4,68	\$ 4,05	\$ 10,38	\$ 20,03
Mano de Obra (x m2 pared)	Oficial \$ 14,27 h	0,60 h (36 min)	0,60 h (36 min)	0,60 h (36 min)	0,40 h (24 min)	1,00 h (60 min)	1,45 h (87 min)
	Ayud. \$ 12,07 h	0,45 h (27 min)	0,45 h (27 min)	0,45 h (27 min)	0,35 h (21 min)	0,85 h (51 min)	1,90 h (114 min)
\$ Mano de Obra Mortero (x m2 pared)		\$ 13,99	\$ 13,99	\$ 13,99	\$ 9,93	\$ 24,53	\$ 43,62
REVOQUE GRUESO 1,5 cm (x m2)	Cemento	\$ 33,20 bolsa x 50 Kg	1,22 Kg	1,22 Kg	---	3,70 Kg	3,70 Kg
	Cal	\$ 13,95 bolsa x 20 Kg	2,38 Kg	2,38 Kg	---	7,20 Kg	7,20 Kg
	Arena	\$ 96,00 x m3	0,012 m3	0,012 m3	---	0,034 m3	0,034 m3
AZOTADO HIDRÓFUGO 0,5 cm (x m2)	Cemento	\$ 33,20 x m3	2,70 Kg	2,70 Kg	---	2,70 Kg	2,70 Kg
	Arena	\$ 96,00 x m3	0,006 m3	0,006 m3	---	0,006 m3	0,006 m3
	Hidrófugo	\$ 81,25 lata x 20 Kg	0,20 Kg	0,20 Kg	---	0,20 Kg	0,20 Kg
REVOQUE FINO 0,5 cm (x m2)	Cemento	\$ 33,20 bolsa x 50 Kg	0,90 Kg	0,90 Kg	---	0,90 Kg	0,90 Kg
	Cal aérea	\$ 22,30 bolsa x 25 Kg	3,20 Kg	3,20 Kg	---	3,20 Kg	3,20 Kg
	Arena	\$ 96,00 x m3	0,012 m3	0,012 m3	---	0,012 m3	0,012 m3
Mano de Obra *	Oficial \$ 14,27 h	1,24 h (74 min)	1,24 h (74 min)	---	1,78 h (107 min)	1,78 h (107 min)	1,78 h (107 min)
	Ayud. \$ 12,07 h	0,69 h (41 min)	0,69 h (41 min)	---	1,12 h (67 min)	1,12 h (67 min)	1,12 h (67 min)
\$ Mano de Obra Revoques (x m2 pared)		\$ 37,22	\$ 37,22	---	\$ 57,25	\$ 57,25	\$ 57,25
TOTAL PARED (x m2)		\$ 96,52	\$ 150,89	\$ 150,92	\$ 131,83	\$ 141,21	\$ 184,80
Porcentuales de diferencia			+56,33%	+56,36%	+36,58%	+46,30%	+91,46%

* UOCRA - Convenio Colectivo de Trabajo 78/75 Mayo 2010

FUENTE: Elaboración propia - GIASUDH

6/2008	Porcentuales de diferencia	Eco-block	+76,64%	+93,81%	+46,43%	+54,44%	+103,33%
6/2010		Eco-block	+56,33%	+56,36%	+36,58%	+46,30%	+91,46%
		Resultado comparado	(-20,31%)	(-37,45%)	(-9,85%)	(-8,14%)	(-11,87%)

Los precios de materiales corresponden a agosto 2008 e incluyen IVA. Surgen del promedio de 6 listados de precios de materiales publicados. (Clarín Arquitectura, Matyser, Abelson, Ombú, Sada y Nimat).

La cantidad de 90 ladrillos comunes para pared de 0,20 m. surge de combinar la colocación normal + ladrillo panderete.

Los costos por hora de Oficial y Ayudante corresponden al convenio vigente (Julio-Septiembre 2008) de la U.O.C.R.A. para la Zona país A que incluye a la Provincia de Buenos Aires.

La reducción al 50% de revoque grueso en bloques de hormigón se debe a que por su terminación no es necesaria la aplicación de 2 cm. de revoque usualmente utilizado en las reglas del arte.

Este cuadro nos está indicando que hubo una reducción en la diferencia porcentual entre el bloque Eco-block y el resto de los mampuestos analizados, durante el período 2008 y 2010.

Este achicamiento de la diferencia se explica a partir de un aumento mayor del precio de venta del Eco-block (+30%) con respecto al resto de los mampuestos (14,2% promedio). Esta apreciación responde a una estrategia asociada a la experiencia en la administración de los nodos de producción en campo, y se explica en un mejoramiento de la percepción del beneficio por parte de las cuadrillas de fabricación de los Eco-block.

Con una producción por cuadrilla de 3000 unidades mensuales (que abastece los mampuestos requeridos por 3 unidades de vivienda social), el beneficio obtenido por cada bloque vendido por persona era del 16% en el 2008. El problema surgía que este porcentaje es percibido a la venta y no a la fabricación, lo que demanda atender todo el proceso (incluida la comercialización). Es por esto que fue necesario incrementar el beneficio por venta de cada unidad resultando un bloque 30% más caro que el 2008, pero con un incremento del beneficio económico por persona 50% mayor en términos reales con respecto al percibido en el 2008, aumentando la participación de la mano de obra, en la venta de cada bloque, en un 18,5% por trabajador.

Sin embargo, y a pesar de una apreciación mayor del Eco-block con respecto a los otros, los márgenes de economía son muy importantes existiendo una brecha de más del 35% con respecto al más cercano competidor.

III.2. Posibilidades productivas e inserción en redes territoriales para el desarrollo.

Resultados emprendimientos productivos en Monte Terrabusi y Alto Camet.

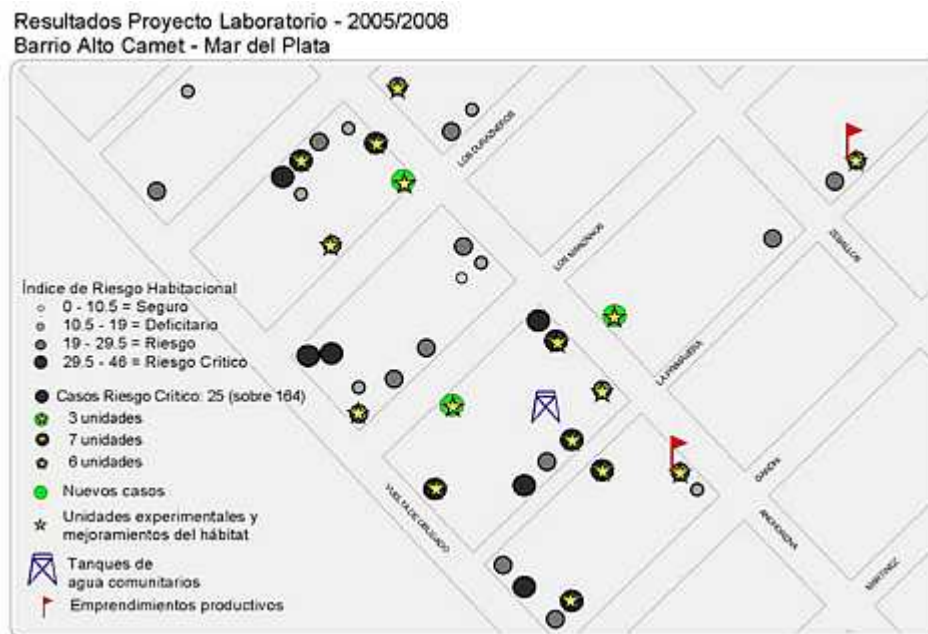


Figura 3. Mapa de resultados Barrio Alto.

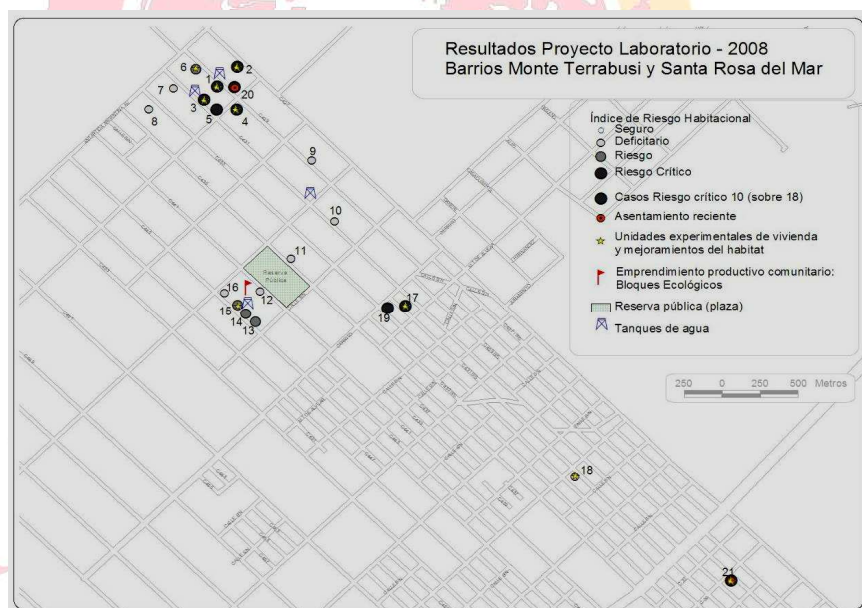


Figura 4. Mapa de resultados Barrio Monte Terrabusi.

Sobre la base territorial analizada, ver mapas, se ha promovido en un hogar, matrimonio y 10 hijos de Alto Camet, con el que se había trabajado previamente tanto el plan agua como de gestión participativa de vivienda, una capacitación para la autoelaboración de bloques cementicios para uso comunitario y como emprendimiento. Esta iniciativa se sostiene y ha sido instalada y reconocida en el barrio. Está acción de empoderamiento: la decisión de hacer 150 bloques por día, con una bloquera manual, y de invertir en la compra de materiales.

En un lapso de tres años se llegó a esta decisión, quizás insignificante para una mirada distraída pero inmensa para la experiencia vital de desarrollo de esa persona y su familia, que tiene su impacto en el barrio, las paredes de chapa y madera están dando lugar a construcciones con bloques. De esta forma, este proceso de cogestión del hábitat y la vivienda se puede constituir también en un proceso de construcción de ciudadanía.



Foto 3. Vivienda en Alto Camet. Familia Farias



Foto 4. Vivienda en Alto Camet. Familia Liliana Sánchez



En este camino, donde la complejidad de problemas que atraviesa cada hogar es inasible, desde los adultos a los niños, es central la acción de las profesionales sociales (asistente social y terapeuta ocupacional) en los hogares: desde problemas de educación, salud, documentación, trabajo, planes sociales....etc. allanan así caminos de otras historias del problema de la pobreza, sustanciales para el tratamiento global del problema que argumentamos en este trabajo.

En el barrio Monte Terrabusi, nuevas prácticas abren promisorios territorios posibles: alejar la basura de los hogares, trabajar en la autoproducción de bloques cementicios ecológicos para autoconsumo y emprendimiento. En este caso con una bloquera mecánica se están produciendo entre 300 y 400 bloques diarios, sobre la base de recibir capacitación para reproducir tecnologías y hacer de efecto multiplicador y poder soñar con otras proyecciones.



Foto 6 y 7. Autoproducción y emprendimiento de bloques cementicios en barrio Monte Terrabusi.



Foto 8. Vivienda en construcción en Barrio Monte Terrabusi.

Foto 9. Vivienda en construcción en Barrio Monte Terrabusi.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados de laboratorio consignados en el presente trabajo no tienen carácter definitivo, están actualmente en proceso de evaluación y están en marcha otros ensayos de resistencia.

A modo de avance, estos resultados preliminares permiten enfocar nuestra búsqueda en dos líneas de trabajo específicas:

- Profundizar y extender las experiencias de laboratorio de pruebas para la obtención de un bloque óptimo de características portantes (>5 MPa de resistencia a la compresión). Esto permitiría favorecer prácticas autoproducidas independientes y alternativa, que permitiría una mayor flexibilidad en la elaboración de las unidades experimentales de vivienda.

Para poder lograr este objetivo se está experimentando con variaciones en los componentes de agregado, un mejor balance en las secciones de las cuarcitas y la arena y en una más ajustada relación agua-cemento.

- La optimización de un bloque de características no portantes, con mayores condiciones de liviandad con respecto a otros de similares características. El valor de rotura de 1,66 MPa (tabla 3), para un bloque no portante es consistente. Asimismo, es también alentador los valores obtenidos en las primeras pruebas de laboratorio para un bloque portante, 5,12 MPa.

Estas posibilidades nos permiten, para la misma relación agregado-cemento incorporar plástico o telgopor a los áridos a fin de lograr bloques más livianos. A la vez, se espera mejorar los valores de resistencia y comportamiento higrotérmico mediante la incorporación de algún aditivo que permita una mayor porosidad en las escamas de plástico, obteniendo de esta forma mejor adherencia entre el plástico y el aglomerante. Este aditivo no deberá perjudicar las características del cemento y no tiene que producir un cambio significativo del costo del producto. De esta forma se espera obtener un bloque apropiado y pertinente, en cuanto a variables económicas y técnicas, y apropiable en cuanto a su producción y uso para la autoconstrucción en el hábitat popular. La comparación de costos con ladrillos y bloques del mercado (tabla 2) presenta diferencias sustantivas que hacen que la investigación y ensayos con agregados de cuarcita sean promisorios.

Estos atributos contribuyen a la estrategia de conformar polos productivos de pequeña y mediana escala situados en los mismos barrios con equipamiento manual o de bajo costo energético, orientados a la elaboración de componentes de viviendas semi-complejos (que impliquen un valor agregado diferencial con altos

grados de innovación) y que sean maleables (de fácil manipulación y transporte). En conjunto se puede así apuntar a generar un sistema que se conforme como fuente de generación de ingresos comunitarios mediante la autogestión asistida.

Así, las cuarcitas de la formación Balcarce son el centro de muchas historias, de un bloque accesible y apropiado, de técnicas, de investigación, de capacitación, de emprendedores, de circuitos económicos alternativos, de la posibilidad de muchos a acceder a un protector muro de material, de niños que mejoran su calidad de vida.

Historias que apuntan a la integración social, a un modelo de transferencia y cogestión interinstitucional. A un modo de pensar el desarrollo local, en una perspectiva ambiental y a escala humana, a partir de la vinculación entre sociedad civil (y la promoción del capital social y humano instalado en los barrios), una empresa y su compromiso socio-ambiental en un marco de responsabilidad social empresarial y la universidad, a través de un programa interdisciplinario que busca otra forma de pensar los problemas y lo que se entiende por transferencia social. Esta prueba piloto es un avance para la discusión en esa dirección.

V. BIBLIOGRAFÍA

Parra y Alfaro J. L., Sanabria Zapata C. M., González Serrano P., Freire Hernández K., Martín Pérez S. (2008). Aplicabilidad de los áridos reciclados a la fabricación de hormigón estructural. Proyecto Recnhor. Tomo I: Los Áridos como factor de desarrollo. Primer Congreso Argentino de Áridos. Mar del Plata, Argentina. 9p.

Parra y Alfaro J. L., Sanabria Zapata C. M., Maceda Alonso M., Martín Pérez S. (2009). Áridos reciclados para fabricación de hormigones estructurales. Proyectos Recnhor y Cleam. Los Áridos una materia prima estratégica. Segundo Congreso Nacional de Áridos. Valencia, España. 4p

Obis Sánchez, J. (2006). La responsabilidad Social Corporativa en el sector de los áridos. Primer Congreso nacional de Áridos. Zaragoza, España. 11p.

Rigou M. (2008). Responsabilidad Social Empresarial y Minería. Tomo I: Los Áridos como factor de desarrollo. Primer Congreso Argentino de Áridos. Mar del Plata, Argentina. 5p.

Leggiero J., Ruggiero M., Del Río L. (2009). La minería de áridos como aporte al desarrollo sustentable y local: El caso de Canteras Yaraví en Chapadmalal-Batán, Partido de General Pueyrredón- Buenos Aires. Argentina. Los Áridos una materia prima estratégica. Segundo Congreso Nacional de Áridos. Valencia, España. 5 p



AABH-INTI-ICPA. (2005). Reglamento Técnico de Bloques de Hormigón. Programa de Certificación de bloques y adoquines de hormigón.

Gordillo, T. Bloques de Hormigón. Departamento Técnico Alubry S.A.

Bagnasco, A., F. Piselli, A. Pizorno y C. Triglia. (2003). El Capital Social. Instrucciones para su uso. Fondo de Cultura Económica, Buenos Aires.

Boisier, S. (2002). ¿Y si el desarrollo fuese una emergencia sistémica?. En Exposición Fundación Universidad de Sevilla (inédito).

Boisier, S. (2001). Desarrollo (local): ¿De qué estamos hablando?. En Estudios Sociales Nº 103, C.P.U, Santiago de Chile, también en Vázquez Barquero A. y O.

Cacopardo, F. (2001). Introducción. El territorio como relación. En F. Cacopardo (ed.) ¿Qué hacer con la extensión? Edit. Alianza, Buenos Aires.

Cacopardo F., P. Lucero, C. Mogensen y L. Aguirre (2005). Mapa de riesgo habitacional y de detección de capital humano y social del peri urbano de Mar del Plata. VIII Jornadas Argentinas de Estudios de Población, Asociación de Estudios de Población de la Argentina (AEPA), Tandil, Argentina.

Ortecho, R, Peyloubert, P y De Salvo, Laura (2007). Ciencia y tecnología para el hábitat popular. Construcción y participación del conocimiento. Compilación. Seminario Iberoamericano de Ciencia y tecnología para el hábitat popular. Nobuko, Buenos Aires.

Pelli, V. (1994). ¿Cómo entendemos la pobreza?. Las ONG en la construcción de la ciudad. Seminario internacional: La ciudad para todos, Programa Arraigo, Buenos Aires. Publicación Módulo de Maestría. Formas participativas de la gestión habitacional, Maestría en Hábitat y Vivienda de la FAUD-UNMdP.

Pelli, V. (1994). El camino hacia la gestión participativa y concertada del hábitat. En V. Pelli (coord.) Reflexiones sobre la autoconstrucción del hábitat popular en América Latina, Programa CYTED, El Salvador. Módulo Maestría en Hábitat y Vivienda de la FAUD-UNMdP.



NIVELES DE ARCILLAS FERRUGINOSAS EN LAS SIERRAS SEPTENTRIONALES DE BUENOS AIRES, ARGENTINA. SU APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL.

Ricardo Etcheverry⁽¹⁾, Marío Tessone⁽²⁾, Marcelo Caballé⁽³⁾ y Raúl Fernández⁽⁴⁾

(1) Instituto de Recursos Minerales (UNLP) – CONICET. Calle 64 n° 3. La Plata. Argentina. Email: retche@inremi.unlp.edu.ar

(2) Instituto de Recursos Minerales (UNLP). Calle 64 n° 3. La Plata. Argentina. Email: mtessone@inremi.unlp.edu.ar

(3) FCNyM, UNLP. Calle 64 n° 3. La Plata. Argentina. Email: mfcaballe@yahoo.com.ar

(4) Instituto de Recursos Minerales (UNLP - CICBA). Calle 64 n° 3. La Plata Argentina. Email: rfernand@inremi.unlp.edu.ar

RESUMEN

Se analizan yacimientos, características y aplicaciones industriales de arcillas ferruginosas (45% promedio de Fe_2O_3). Al consumo en la fabricación de cemento portland (materiales ferrosos 1%, arcillas 2,2%), se agrega la potencialidad en la elaboración de pigmentos para pinturas.

ABSTRACT

In this study are analyzed deposits, characteristics and industrial applications of ferruginous clay (45% average content of Fe_2O_3). To the consumption of this material in the production of portland cement (ferrous materials 1%, clay 2,2%), it is added the potential use for pigments in paints.

Palabras Clave: Arcillas ferruginosas, Aplicación industrial, Sierras Septentrionales, Argentina.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años la producción de rocas y minerales industriales (RyMI) ha experimentado un aumento continuo en todo el mundo, vinculado con el importante crecimiento económico de numerosos países. La Argentina y en especial la provincia de Buenos Aires siguen esta tendencia y es el territorio bonaerense donde se

concentran gran parte de estos recursos y la mayor producción minera del país en estos rubros, relacionada sin duda a la destacada actividad de la industria de la construcción.

Dichos yacimientos se emplazan fundamentalmente en las Sierras Septentrionales de Buenos Aires. En particular, los niveles ferruginosos son explotados para su aplicación en la industria del cemento portland, uno de los principales indicadores del nivel de la construcción (Caballé *et al.*, 2008). En Argentina se producen alrededor de 7,5 millones de toneladas anuales de cemento, contribuyendo los materiales ferrosos con 1% y las arcillas con 2,2%.

Un uso alternativo para estas arcillas se podría dar en la fabricación de pinturas, donde se utilizan dos tipos de pigmentos: el *activo*, que confiere una propiedad específica, y los *extendedores*, cargas destinadas a reducir los costos y que pueden mejorar propiedades tales como consistencia, resistencia a la transmisión del agua y dureza. Los *extendedores* pueden ser de dos tipos: blancos y coloreados. Dentro de los segundos, uno de los más utilizados, por su costo moderado y excelentes propiedades de resistencia a la radiación UV, son los *ferrites u óxidos de hierro*.

Los óxidos de hierro, usados en la industria de los pigmentos, se presentan de muy variadas formas, constituyendo desde simples combinaciones del elemento hierro con el oxígeno hasta asociaciones de varios óxidos combinados, y desde estructuras cristalinas hasta amorfas e inclusive mezclas de óxidos e hidróxidos denominadas "limonitas". De acuerdo a Di Giusto *et al.* (2008) los productos que se consumen en el mercado interno como pigmentos inorgánicos para pinturas y plásticos son óxidos de hierro sintéticos, elaborados a partir de chatarra proveniente de residuos de la industria metalúrgica, los cuales son tratados con ácido sulfúrico y posterior burbujeo con aire, obteniéndose óxidos de distintos colores. Estudios preliminares sugieren que, los óxidos presentes en los niveles inferiores de las *arcillas ferruginosas*, podrían ser usados para tales fines.

El primer productor mundial de "óxidos de hierro" para pigmentos es India con promedio de más de 300.000 t/año, y en segundo lugar se encuentra USA con 50.000 t/año. Argentina no produce "óxidos" como tales desde fines de la década de '90 del siglo XX, actualmente importa y fabrica sustitutos sintéticos.

En la provincia de Buenos Aires, la producción de arcillas ferruginosas no está discriminada y está incluida dentro del rubro *Arcillas* de la Estadística de la Dirección Provincial de Minería cuya producción para el año 2009 fue del orden de 1.700.000 toneladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las Sierras Septentrionales de Buenos Aires o Tandilia, es una unidad integrada por un basamento cristalino (*Complejo Buenos Aires*) sobre el que se disponen

secuencias sedimentarias, de edad precámbrica - ordovícica, depositadas en ambientes de plataforma (en orden ascendente, *Grupo Sierras Bayas* y las *Formaciones Cerro Negro* y *Balcarce*. Poiré y Spalletti, 2005. Fig. 1). Las Sierras Septentrionales constituyen un cordón discontinuo controlado por una estructura de bloques, que se extiende con orientación noroeste-sureste por unos 300 kilómetros.

En el ámbito de estas Sierras, el área de Barker - Villa Cacique (zona de trabajo) representa una de las de mayor interés, dado su potencialidad minera (tanto por cantidad de reservas como por la calidad de las arcillas de algunos yacimientos. Caballé *et al.*, 2005). Los niveles ferruginosos se presentan particularmente en la *Formación Las Águilas*, dentro del *Grupo Sierras Bayas* (Precámbrico), y están expuestos en sierra Cuchilla de las Águilas y sierra La Juanita.

Esta Formación presenta en su base una brecha fanítica, a la cual se superponen pelitas con alto contenido de hierro, luego facies pelíticas y heterolíticas, para rematar con niveles cuarcíticos.

Se efectuó un procesamiento digital de una imagen LANDSAT-7/ETM+, con cobertura geográfica, generándose un producto de alta precisión geométrica y buena resolución espacial para su uso como cartografía de base en el reconocimiento y mapeo geológico minero. Se obtuvo así una imagen del área de Barker y alrededores, georeferenciada con coordenadas Gauss Krüger (WGS 84 - Fig. 2), que permitió su uso en la interpretación y mapeo geológico a escala 1:25.000.

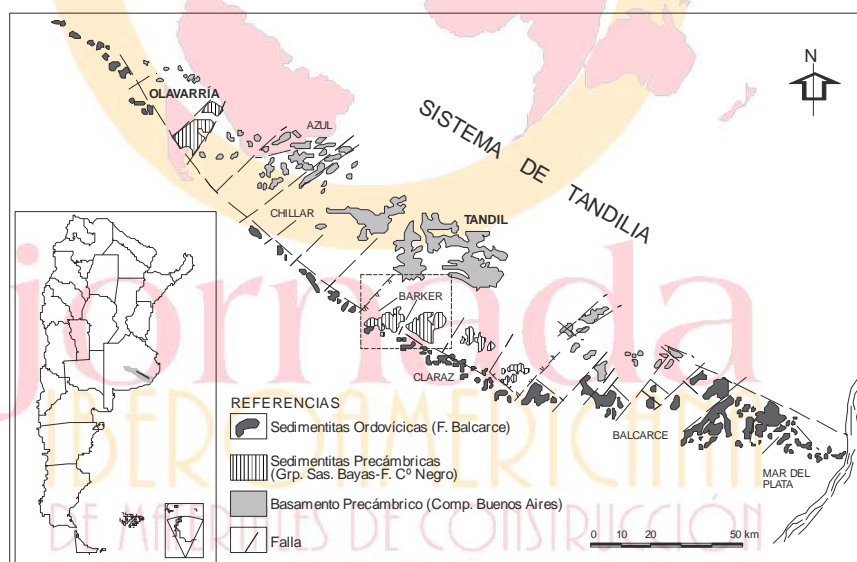


Figura 1: Sistema de Tandilia. Plano de ubicación y geología simplificada del área (modificado de Poiré y Spalletti, 2005)

Posteriormente se chequeo, en el campo, la información foto-interpretada y se efectuaron perfiles geológico-estructurales de detalle en las distintas canteras de la zona, obteniéndose muestras representativas de los materiales reconocidos. Sobre las mismas se efectuaron determinaciones mineralógicas y análisis geoquímicos. Se utilizaron técnicas de microscopía óptica sobre cortes delgados y de difracción de Rayos X para establecer la composición de las asociaciones minerales presentes en los distintos niveles de las canteras.



Figura 2: Imagen satelital donde se indican los sectores estudiados: Sierras de la Juanita y Cuchilla de las Águilas, y las muestras obtenidas en cada uno de ellos.

La geoquímica de las muestras fue establecida por el método ICP, determinándose los componentes mayoritarios y minoritarios de las mismas.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El miembro portador de las *pelitas ferríferas* presenta espesores entre 5 y 10m, se extiende a partir de descubrimientos discontinuos en frentes de canteras, en una superficie de 7.000 Has en las Sierras mencionadas (Fig. 2). Estas pelitas presentan concentraciones de óxido de hierro de alrededor de 45% en promedio, con sectores de hierro masivo de hasta 7 metros de potencia que llegan a contener 65% de Fe_2O_3 . Los análisis geoquímicos se presentan en el siguiente cuadro.

Mtras	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	Cr ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	MnO %	P ₂ O ₅ %	SrO %	LOI %	Total %
10734	24,8	18,35	46	0,24	0,12	0,54	1,84	<0.01	0,83	0,03	0,39	0,09	4,81	98,1
10738	14,3	10,55	64,3	0,19	0,05	0,11	1,15	0,04	0,39	2,05	0,17	0,06	5,35	98,8
10913	44,5	8,05	39,4	0,31	0,21	0,11	2,02	0,01	0,44	0,58	0,13	0,01	3,16	99
10914	32,2	23,3	30,3	0,16	0,18	0,29	3,75	0,01	1,29	0,08	0,24	0,06	5,07	97,1

10915	25,8	20,2	39,4	0,49	0,25	0,14	3,4	0,02	0,88	0,18	0,74	0,12	5,64	97,4
10918	21,5	15,6	50,2	0,37	0,16	0,2	1,48	<0.01	0,83	1,76	0,54	0,08	5,41	98,2
10919	21	15,6	49,5	0,35	0,16	0,19	1,41	<0.01	0,81	1,74	0,57	0,08	5,4	96,9
10920	19,6	14,65	54,6	0,38	0,17	0,17	2,72	0,01	0,8	0,62	0,45	0,03	4,44	98,7

Cuadro 1: Análisis químicos de muestras de arcillas.

Las asociaciones mineralógicas identificadas varían entre distintas proporciones de hematita, goethita y óxidos de hierro indiferenciados; cuarzo; caolinita (> material illítico y esmectitas); pirofilita; mica y accesorios (alunita y anatasa). Los óxidos de hierro se presentan en forma compacta, con colores rojos en general y en parte violáceo-morados.

En las zonas de trabajo los depósitos de óxidos y arcillas ferruginosas eran considerados como de hábito “*bolsonero*”, lo que implicó una minimización de la potencialidad del recurso.

Es de destacar que los estudios geológico-estructurales efectuados permiten plantear que estas discontinuidades de los niveles ferríferos están ocasionadas por fracturas de carácter local, con escasos rechazos verticales, lo que implica una mayor continuidad espacial de estos niveles dado su carácter mantiforme.

Por otra parte, se considera que se puede realizar una explotación integral de la secuencia sedimentaria, dado que la misma esta formada además por otros niveles pelíticos y psamíticos suprayacentes. De acuerdo a Etcheverry *et al.* (2006) los que revisten mayor interés económico son los compuestos por minerales de las arcillas (illita, caolinita) y cuarcitas, los cuales constituyen depósitos para la fabricación de tejas, pisos, porcelanatos y áridos respectivamente.

Desde el punto de vista de la aplicación industrial, los materiales ferruginosos son utilizables por las industrias del cemento y de los pigmentos.

La fabricación de cemento se realiza en plantas radicadas en las cercanías de Barker y Olavarria, que utilizan la modalidad “vía seca” para obtener dicho producto. Consiste en un proceso térmico a elevadas temperaturas de materiales con contenidos de óxidos de calcio, sílice, hierro y aluminio.

Si bien la caliza se extrae de la Formación Loma Negra, dentro de la cual se reconoce, de piso a techo, las denominadas: *calizas color* y *negra* (cuyos contenidos comunes se presentan en el cuadro 2). Los otros componentes que conforman el clinker proceden fundamentalmente de la *margas* de la Formación Cerro Negro (suprayacente) y de los niveles de *arcillas ferruginosas* motivo del presente trabajo. Es por ello fundamental dimensionar el recurso en consideración, dado que los

productores cuentan con importantes reservas de calizas pero necesitan establecer la existencia de arcillas ferruginosas que le aporten los otros constituyentes y que estén localizadas en las proximidades de los centros de producción.

Tipo	CaCO ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
Caliza Negra	85-90	6-11	1-1,5	0,5-1
Caliza Color	67-75	16-20	2-4	1-2,2

Cuadro 2: Análisis químicos comunes de calizas en explotación (por Fluorescencia de rayos X. Fuente Poiré *et al.* 2005).

Respecto a la industria de pigmentos Caprari y De Giusto (2007) efectuaron clasificaciones granulométricas y estudios microscópicos de muestras del área, posibilitando una elección del tratamiento de beneficio a seguir para purificar los óxidos de hierro. De acuerdo a su propuesta se separaron, en gran medida, los óxidos de hierro de la ganga (arcillas, pirofilita, mica, cuarzo, etc.). Cabe aclarar que si estos últimos minerales, si se encuentran en grandes proporciones, reducen el poder de pigmentación de los óxidos. Los resultados obtenidos por dichos autores, permiten concluir que en determinados intervalos granulométricos se presenta la máxima concentración de mineral de hierro, siendo solamente necesario someter ese material a molienda y micronizado para ser comercializado.

CONCLUSIONES

Sobre la base de los estudios preliminares realizados se recomienda la concepción de programas de exploración que definan la continuidad y potencialidad de las *arcillas ferruginosas* ya que su utilización será crucial en la producción de estos recursos por parte de la industria nacional. En primer término se propone profundizar los mapeos geológico-estructurales de detalle y concretar un plan de perforaciones, con énfasis en las áreas de la Sierra de La Juanita y Sierra Cuchilla de las Águilas, sector central de Tandilia.

BIBLIOGRAFÍA

Caballé, M. et al. (2008). Minerales industriales y rocas de aplicación de las Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires, Argentina. En *Actas 1º Congreso Argentino de Áridos 2008 y VI Jornadas Ibero-americanas de Materiales de Construcción: "Recursos para la Construcción y Aplicaciones Industriales"*, Actas: 33-42. Mar del Plata, Argentina.



Caballé, M. et al. (2005). Prospección de rocas de aplicación en Tandil, Provincia de Buenos Aires. *VIII Congreso Argentino de Geología Económica: "La minería, madre de industrias, es una actividad sostenible"*, Actas: 43-50. Buenos Aires, Argentina.

Caprari, J. y De Giusto, M. (2007). Óxido de hierro: pigmento especial. *Revista INPRA Latina* (Ed. Latin Press Inc), v. 12 nº 1, 18-20. Medellín, Colombia.

Di Giusto, M. et al. (2008). Revalorización de Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires para Uso Industrial. Su Aplicación en Pinturas, Plásticos y Caucho. *CICBA (CIDEPINT – CETMIC)*. Informe Inédito, 37p. La Plata. Argentina.

Etcheverry, R. et al. (2006). Exploración geológico-geofísica de arcillas en las Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. En *"Avances en Mineralogía, Metalogenia y Petrología 2006"*. Editores: M.K. de Brodtkorb, Koukharssky M., Montenegro T., Poma S y Quenardelle S., 251-256. ISBN 10 987-21577-2-3 y 13 987-21577-2-2. FCEyN, UBA – Asociación Mineralógica Argentina. Buenos Aires, Argentina.

Poire, D. y Spalletti, L. (2005). La cubierta sedimentaria Precámbrica – Paleozoica inferior del Sistema de Tandilia. En *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires* (Eds. De Barrio, Etcheverry, Caballé y Llambías), 51-68. ISBN 987-22403-0-2. La Plata, Argentina.

Poiré, D. et al. (2005). Las calizas del Sistema de Tandilia y su utilización en la industria cementera. En *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires* (Eds. De Barrio, Etcheverry, Caballé y Llambías), 387-396. ISBN 987-22403-0-2. La Plata, Argentina.



CRITERIOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE TOBAS DÁCITICAS EN LA SUSTITUCIÓN DE CEMENTO PÓRTLAND EN MORTEROS Y HORMIGONES.

Costafreda, J.L.⁽¹⁾, Calvo, B.⁽¹⁾ y Parra, J.L.⁽¹⁾

⁽¹⁾Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Departamento de Ingeniería Geológica. C/ Ríos Rosas, 21. 28003. Madrid. (costafreda@yahoo.es); (benjamin.calvo.perez@gmail.com) y (joseluis.parra@upm.es).

RESUMEN:

Los materiales puzolánicos reactivos son muy conocidos actualmente, así como sus beneficios en la mejora de gran número de cementos. El presente trabajo tiene la intención de mostrar algunos resultados prácticos, obtenidos de recientes investigaciones de tobas de composición dacítica, capaces de sustituir al cemento pórtland de alta resistencia inicial en morteros y hormigones. Los contenidos apreciables en sílice y en alúmina, los bajos contenidos en sulfato y materias orgánicas, y una molienda adecuada, entre otros, son las causas, al parecer, de la eficacia de este material a la hora de aportar valores apreciables de resistencias mecánicas a edades cercanas y superiores a los 28 días.

Palabras clave: tobas dacíticas, cemento pórtland, morteros, hormigones, resistencias mecánicas

ABSTRACT:

The pozzuolanic materials are very known nowadays, as well as his benefits in the improvement of great number of cements. The present paper shows some practical results obtained of recent investigations of dacitic tuffs, which are capable of substituting the portland cement of high initial resistance in mortars and concretes. Both, the valuable contents in silica-alumina and the low sulphate-organic materials levels, as well as the correct crushing, are the reasons of the efficiency of this material, with the contribution of mechanical resistances in close and higher ages than twenty eight days.

Key words: dacitic tuffs, portland cement, mortar, concrete, mechanic resistance.

INTRODUCCIÓN

La fabricación de cementos con adiciones controladas de materiales puzolánicos, naturales como artificiales, es una práctica muy extendida en la actualidad, en el empeño de obtener aglomerantes y estructuras más resistentes y estables, en los

aspectos físico y químico, que satisfagan las exigencias de las tecnologías en la construcción moderna, tanto en superficie, subterráneas como en contacto con los entornos marinos y suelos altamente contaminados.

De igual modo, se precisa mitigar con creces la emisión de CO₂ a la atmósfera, producida inevitablemente durante la fabricación de grandes volúmenes de cemento pórtland.

Al mismo tiempo, es imprescindible un conocimiento profundo de los agregados y adiciones para el cemento ordinario, para diagnosticar y controlar sus comportamientos en todas las etapas de la reacción hidráulica, las variaciones en las interfases, y las características de las paragénesis minerales finales.

Muchas puzolanas han sido caracterizadas con los propósitos anteriores, principalmente las zeolitas naturales (Rosell, M., 2006), (Costafreda, J.L. *et al.*, 2007), (Costafreda, J.L., 2008), (Costafreda, J.L. *et al.*, 2009), y de cenizas volcánicas, sílice (Rabilero, A., 1988); pero la experiencia demuestra que puede ampliarse la lista de materiales cuya aportación al cemento es apreciable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de estos ensayos se emplearon tres muestras de toba dacítica, extraídas de afloramientos de la región de Cabo de Gata, al sur de España (ver figura 1).

Caracterización de las muestras.

Estas rocas son, mayormente, tobas vitrocrystalolitoclásticas, que transicionan ocasionalmente a ignimbritas y cineritas de composición dacítica. Suelen ser ligeras, porosas y pumíticas. Se alteran con facilidad y aparecen cementando materiales piroclásticos (Costafreda, J.L., 2008).

Se originaron, posiblemente, por la rápida pérdida de líquido y vapor durante las emisiones volcánicas neógenas del sureste de España, donde los materiales más finos se compactaron entre sí, formando estratos de tobas de diferentes granulometría y composición, principalmente dacítica.

Microscópicamente, estas rocas están constituidas por vidrio, cuarzo, piroxeno, plagioclasa, biotita, epidota y fragmentos de rocas; con texturas variables del tipo vitrocrystalolitoclástica, bandeada, cinerítica y tufítica. La matriz es muy fina, vítrea, alterada, desvitrificada; muchas veces predomina un cemento de cinerita que

engloba cristales recocidos, que muestran caras cóncavas y convexas, con estiramientos exagerados por su eje longitudinal. Los fenocristales han sido sustituidos isomórficamente por material secundario de naturaleza bentonítica y zeolítica, emplazándose a través de las líneas de los cruceros y microfracturas, y como sustitución pseudomórfica del vidrio volcánico (Costafreda, J.L., 2008).

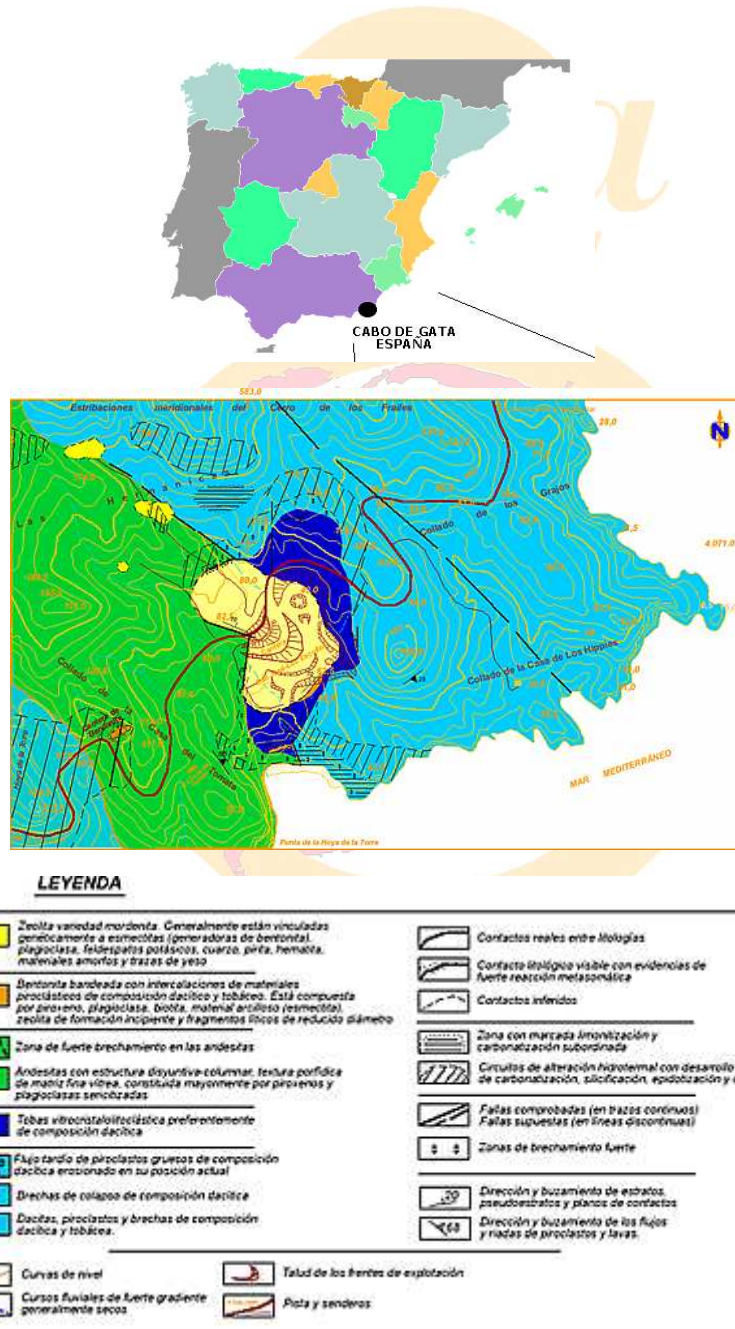


Figura Nº 1: Mapas de ubicación geográfica y geológico (escala 1:10.000), reflejando los lugares de yacencia de las tobas dacíticas en la región del Cabo de Gata, España.

Las muestras obtenidas contienen entre un 63,28% y un 65,99% de sílice, 12,08-14,01% de alúmina y 2,39-3,03% de compuesto de sodio (ver tabla 1).

Tabla Nº 1: Composición química de las tobas dacíticas empleadas en el presente trabajo.

Muestra	Composición química						
	(%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
TD-I	64,49	13,19	1,6	0,873	2,09	2,99	3,92
TD-II	65,99	14,01	1,72	1,16	1,85	3,03	2,89
TD-III	63,28	12,08	1,44	2,05	1,73	2,39	2,82

Fuente: Costafreda, J.L. y Calvo, B. 2007.

Preparación de las muestras:

Las muestras fueron trituradas por debajo de 63 micras. Se prestó especial atención al grado de finura de las tobas dacíticas empleadas en el presente trabajo, por su importancia en los ensayos ulteriores, pues los componentes hidratados son los que dan mayor resistencia al cemento, de forma que cuanto menor es el tamaño del grano, mayor es la resistencia alcanzada. En los granos pequeños, la hidratación se completa prácticamente en su totalidad, porque el agua logra penetrar en su interior con bastante facilidad (Costafreda, J.L., 2008).

Se utilizó un cemento pórtland de alta resistencia inicial. Su composición química se ofrece en la tabla 2.

Tabla Nº 2: Composición química del cemento pórtland de referencia anhidro empleado en el presente trabajo.

Compuestos en % de masa													P.P.C.	%
MUESTRA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	Fe ₂ O ₃	CaO	Cl	Ti O ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	(%)	Total
Cemento de Referencia	17,45	5,59	1,37	0,091	0,641	3,35	64,04	-	0,326	0,072	4	0,094	2,43	99,454

La preparación de los morteros se realizó de acuerdo con las indicaciones de la norma UNE-EN 196-1:2005.

Las tres muestras de toba dacítica fueron subdivididas en submuestras, convenientemente dosificadas, según la norma UNE-EN 196-1:2005. Esta subdivisión representa las 4 edades de ensayos elegidas para la investigación; es decir: 2, 7, 28 y 90 días, obteniéndose una población total de 12 submuestras (ver tabla 3).

Tabla N° 3: Relación de muestras originales, submuestras y dosificación correspondiente para la elaboración de los morteros con diferentes dosificaciones.

MUESTRA ORIGINAL	SUB MUESTRAS	DOSIFICACIÓN
TD-I*	TD-I-2 ¹	(75% CemRef /25% Pz) 375 (g) Cemento de referencia 125 gramos de puzolana (zeolita o toba vítrea dacítica) 225 gramos de agua desmineralizada
	TD-I-7 ²	
	TD-I-28 ³	
	TD-I-90 ⁴	
TD-II	TD-II-2	(70% CemRef /30% Pz) 350 (g) Cemento de referencia 150 gramos de puzolana (zeolita / toba vítrea dacítica) 225 gramos de agua desmineralizada
	TD-II-7	
	TD-II-28	
	TD-II-90	
TD-III	TD-III-2	Cemento de referencia: 450 ± 2 gramos de cemento de referencia. 1.350 ± 5 gramos de arena normalizada. 225 ± 1 gramos de agua desmineralizada.
	TD-III-7	
	TD-III-28	
	TD-III-90	

(*)TD-I-2¹, 2, 3 y 4: submuestras de mortero (cemento pórtland + toba dacítica + arena normalizada + agua destilada), analizadas a las edades de 2, 7, 28 y 90 días (norma UNE-EN 196-1:2005).

De igual manera se procedió con el cemento de referencia, a partir del cual fueron elaboradas 4 submuestras de morteros, que representan las edades a 2, 7, 28 y 90 días, en una mezcla simple y ordinaria que no contempla agregados puzolánicos. La

composición normalizada de estos morteros comprende: árido natural (1.350 gramos), agua desmineralizada (225 gramos) y cemento de referencia (450 gramos) (ver tabla 3).

Para la elaboración de los morteros a partir de las mezclas de puzolanas naturales con cemento pórtland, se preparó la siguiente proporción: cemento pórtland (75% = 375 gramos) y puzolana natural (toba dacítica) (25%= 125 gramos) (ver tabla 3).

De la dosificación mencionada, se obtuvo una masa total de 500 gramos de mezcla cemento-puzolana, de la cual se emplearon 450 gramos (según norma UNE-EN 196-1:2005) para la elaboración y enmoldado de los morteros, en una mezcla final con arena y agua normalizadas.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En la tabla 4 se relacionan los resultados de los ensayos mecánicos a compresión por muestras de morteros mixtos y simples, a las edades de 2, 7, 28 y 90 días.

Tabla Nº 4: Relación de lecturas de compresión a 2, 7, 28 y 90 días para las muestras ensayadas.

Nº MUESTRA	EDAD (días)	LECTURA COMPRESIÓN (Mpa)	LECTURA COMPRESIÓN (Mpa)
		DOSIFICACIÓN: (75% CemRef/25% Pz)	DOSIFICACIÓN: (70% CemRef/30% Pz)
TD-I	2	15,0	17,0
TD-I	7	25,0	23,5
TD-I	28	44,7	44,2
TD-I	90	70,8	66,7
TD-II	2	15,0	14,6
TD-II	7	26,0	21,1
TD-II	28	45,2	46,2
TD-II	90	72,7	66,3
TD-III	2	12,6	16,6
TD-III	7	23,8	22,5
TD-III	28	49,9	50,0

TD-III	90	58,4	56,4
CemRef	2	27,2	24,3
CemRef	7	42,7	33,7
CemRef	28	60,0	50,6
CemRef	90	68,4	66,5

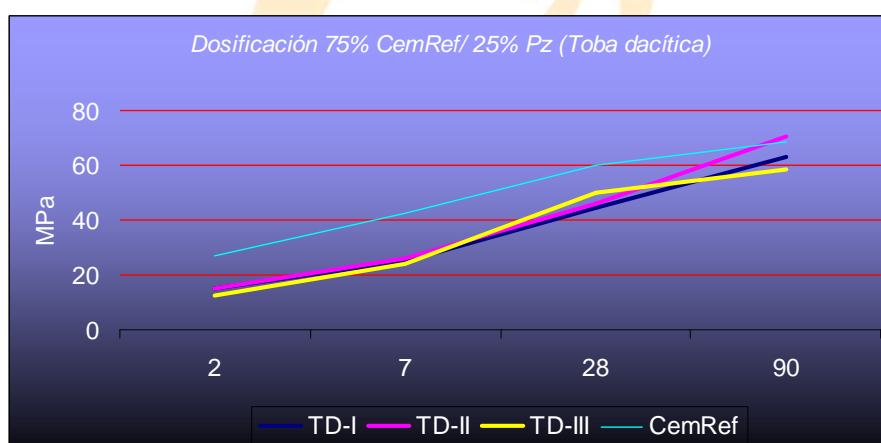


Figura N° 2: Incremento de las resistencias mecánicas en el tiempo para morteros mixtos y simples, con dosificación 75% CemRef / 25% Pz (Toba dacítica).

Los resultados analizados a partir de la tabla 4 y de la figura 2, para la dosificación 75%-25%, develan una gran similitud en las tres muestras analizadas a 2 días, con un ligero desfase de TD-III. Esta condición no varía mucho a los 7 días; sin embargo, transcurrido 28 días de reacción, se desfasa la muestra TD-III respecto a TD-I y TD-II, superando significativamente los valores de resistencia mecánica. A los 90 días, las muestras TD-I y TD-II vuelven a comportarse más reactivas.

Un aspecto importante a destacar es el aumento de los valores de resistencia mecánica de las muestras TD-I y TD-II, que superan la resistencia aportada por el cemento de referencia a los 90 días. El ritmo del incremento de las resistencias aportadas por las tres muestras se hace evidente a partir de los 7 días, disminuyendo drásticamente la diferencia respecto al cemento de referencia a los 28 días (ver figura 2).

La reactividad de las muestras preparadas con dosificación 70%-30%, no difiere mucho respecto a las elaboradas con la proporción 75%-25% (ver figura 3); las resistencias mecánicas se han incrementando siguiendo un patrón cercano.

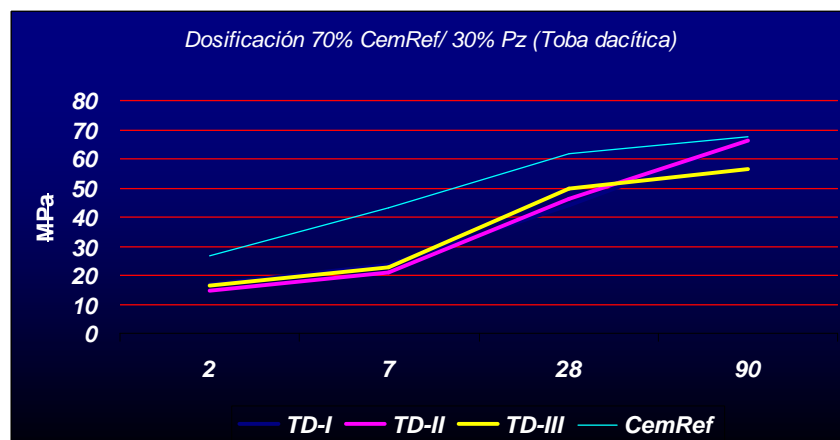


Figura N° 3: Incremento de las resistencias mecánicas en el tiempo para morteros mixtos y simples, con dosificación 70% CemRef / 30% Pz (Toba dacítica).

La comparación de los resultados obtenidos con las investigaciones con zeolitas naturales (Costafreda, J.L., 2008) y las tobas dacíticas de este trabajo, arroja criterios interesantes sobre el comportamiento de diferentes puzolanas en las mezclas de morteros (ver tabla 5 y figuras 4 y 5).

Tabla N° 5: Comparación de resultados de resistencias mecánicas de morteros elaborados con zeolitas naturales y los obtenidos en la presenta investigación.

N° MUESTRA (Tobas dacítica)	EDAD (días)	LECTURA COMPRESIÓN (Mpa)	LECTURA COMPRESIÓN (Mpa)	N° MUESTRA (Zeolita) (*)	LECTURA COMPRESIÓN (Mpa)	LECTURA COMPRESIÓN (Mpa)
		DOSIFICACIÓN: (75%CemRef/25%Pz)	DOSIFICACIÓN: (70%CemRef/30%Pz)		DOSIFICACIÓN: (75%CemRef/25%Pz)	DOSIFICACIÓN: (70%CemRef/30%Pz)
TD-I	2	15,0	12,0	SJ-7	16,0	15,0
TD-I	7	24,3	23,5	SJ-7	25,9	24,5
TD-I	28	44,7	44,2	SJ-7	51,4	50,3
TD-I	90	63,1	62,3	SJ-7	70,8	66,7
TD-II	2	15,0	14,6	SJ-9	17,5	15,9
TD-II	7	26,0	21,1	SJ-9	26,6	24,0
TD-II	28	46,2	45,2	SJ-9	48,9	47,9

TD-II	90	70,7	66,3	SJ-9	72,7	68,4
TD-III	2	12,6	12,6	SJ-10	15,5	14,2
TD-III	7	23,8	22,5	SJ-10	24,9	20,7
TD-III	28	50,0	49,8	SJ-10	48,0	49,3
TD-III	90	58,4	56,4	SJ-10	65,9	65,2

(*)Fuente: Costafreda, J.L., 2008.

Es evidente que los morteros elaborados a base de zeolitas naturales aportan resistencias significativamente más altas que los que contienen tobas dacíticas (ver figuras 4 y 5); no obstante, esta diferencia no determina la eficiencia reactiva ni la calidad como aglomerantes de estas últimas.

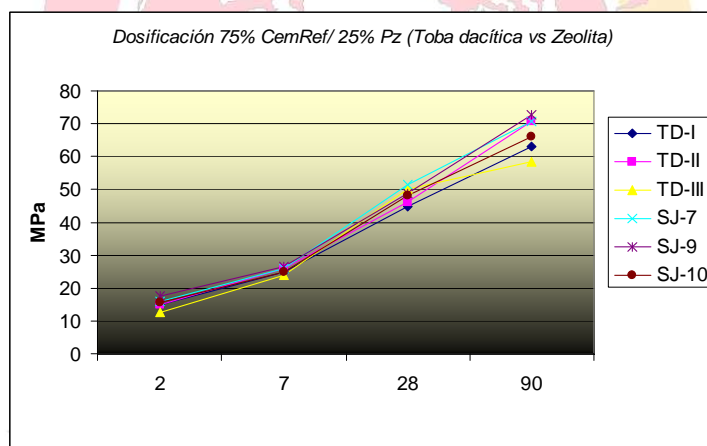


Figura Nº 4: comportamiento mecánico de morteros elaborados con zeolitas y tobas dacíticas, con dosificación 75%-25%, respectivamente.

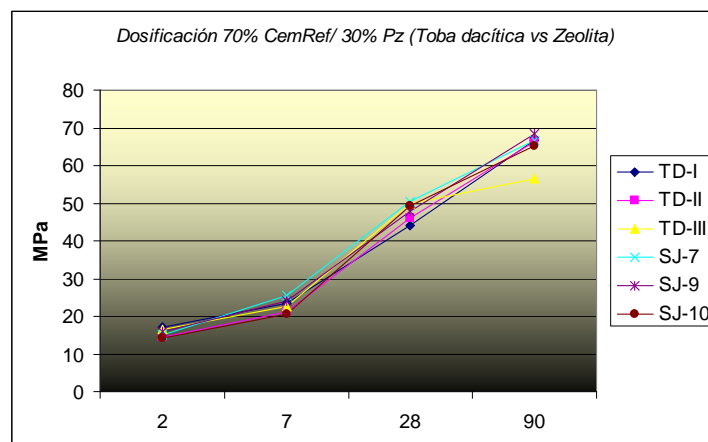


Figura Nº 5: comportamiento mecánico de morteros elaborados con zeolitas y tobas dacíticas, con dosificación 70%-30%.

Muchos yacimientos de zeolitas (San José Los Escullos, España, y Escalerillas en México) aparecen tobas de composición dacítica y riolítica, respectivamente, esta condición puede considerarse un buen pronóstico para explotar ambos materiales como un todo-uno, sin incidir negativamente en la calidad del cemento o del mortero.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, se podrán fabricar tipos de cementos con propiedades ventajosas, tales como: mayor resistencia química, menor calor de hidratación y mayor inhibición de la reacción álcalis/árido. Entre estos cementos podrían figurar: cemento pórtland con adiciones resistentes a los sulfatos y al agua de mar, cementos con adiciones puzolánicos (construcción de zapatas, pisos, columnas, muros, losas, pavimentos guarniciones, brocales de pozos, registros y tuberías) y cementos compuestos (gran durabilidad en prefabricados para alcantarillados, concretos con mayor resistencia química con bajo desprendimiento de calor que sea compatible con todos los materiales de construcción como arenas, gravas, piedras, mármol y pigmentos).

Podrán ser empleados en la construcción de hormigones que deben resistir el ataque del agua de mar en condiciones de agresividad baja o media, así como en obras situadas en ambientes marinos en los que suelen darse condiciones ambientales agresivas, y para evitar problemas derivados de la reacción álcalis-árido.

La puzolana empleada (toba dacítica) es capaz de sustituir al cemento portland en un 25% y 30%, esto garantiza los bajos valores de calor de hidratación, Esta condición puede evitar de forma eficiente la retracción térmico-plástica, la expansión y la fisuración de los hormigones.

Los morteros fabricados con adiciones de toba dacítica aportan elevada resistencia mecánica, esto los hace adecuados en la construcción de grandes estructuras donde se requiera una durabilidad excelente, fundamentalmente frente a la agresividad de las aguas puras, carbónicas o con débil acidez mineral.

Las puzolanas empleadas en el presente trabajo aportan al mortero cohesión, manejabilidad, impermeabilidad y hermetismo, estas propiedades aportan a los morteros resistencia a la congelación y a la acción del CO₂.

BIBLIOGRAFÍA

Costafreda, J.L. y Calvo, B. (2007). Calidad de las rocas zeolitizadas de Cabo de Gata como agregados activos en cementos puzolánicos resistentes a los sulfatos y al agua de mar. *V Jornadas Iberoamericanas de Materiales de Construcción*. Ciudad de Panamá, Panamá. 13 p.

Costafreda, J.L. (2008). Geología, caracterización y aplicaciones de las rocas zeolíticas del complejo volcánico de Cabo de Gata (Almería). *Tesis Doctoral*. Madrid, España. 515 p.

Costafreda, J.L. y Calvo, B. (2008). Aprovechamiento de las rocas encajantes de los yacimientos e indicios de zeolitas naturales de Cabo de Gata, España. *VI Jornada Iberoamericana de Materiales de Construcción*. Mar del Plata, Argentina. 10 p.

Costafreda, J.L., Calvo, B. y Peralta, X. B. (2009). Aprovechamiento de los residuos de demolición de la ciudad de Madrid en morteros con zeolita natural: una contribución a la mejora del medioambiente. *III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra*. La Habana, Cuba. 9 p.

Rosell, M. (2006). Zeolitas naturales cubanas. Reactividad puzolánica. Uso en adiciones para hormigones. *Tesis Doctoral*. Centro Técnico para el desarrollo de Materiales de Construcción. La Habana, Cuba. 123 p.

UNE-EN 196-1:2005: Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas.

UNE-EN 196-3:1996: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen.

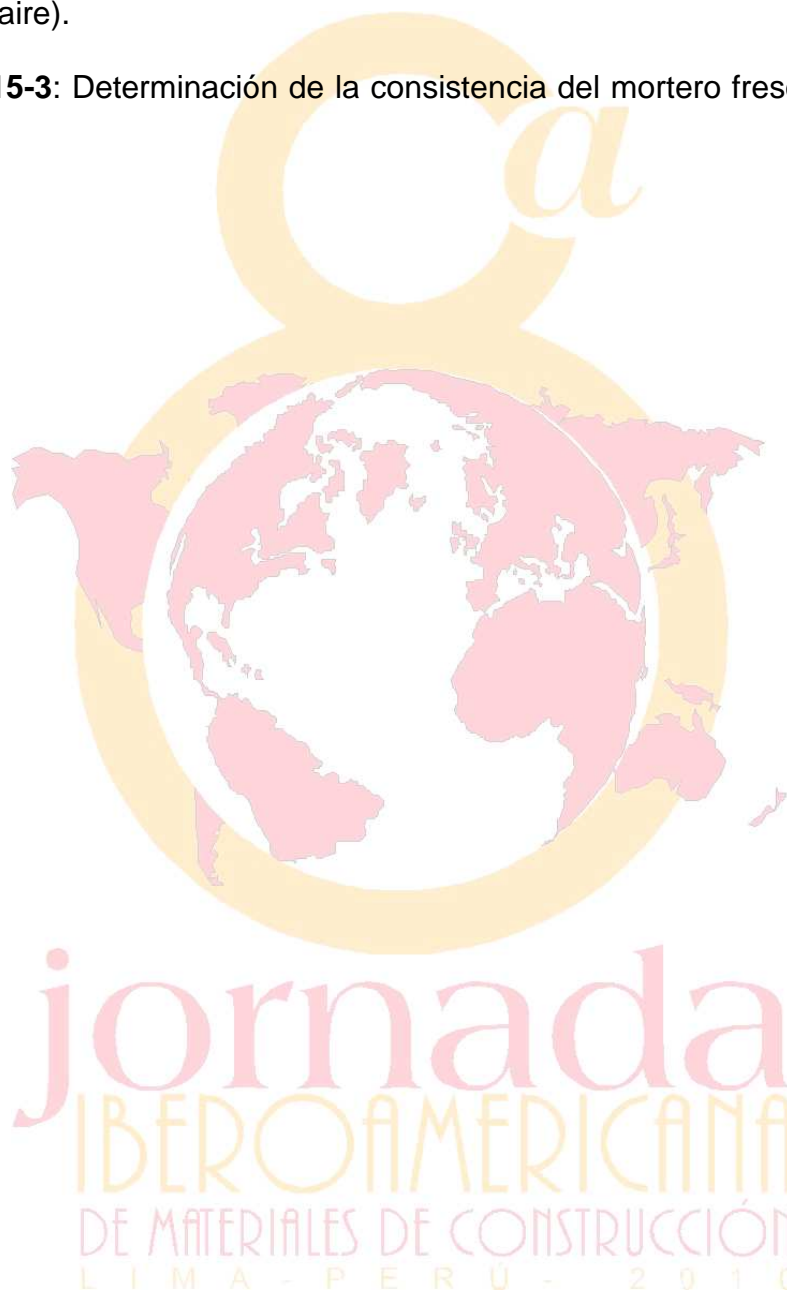
UNE-EN 197-1:2000: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.

UNE-EN 933-1:1998: Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado.



UNE-EN 933-10:2001: Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 10: Evaluación de los finos. Granulometría de los fillers (tamizado en corriente de aire).

UNE-EN 1015-3: Determinación de la consistencia del mortero fresco por el método de sacudida.



LA CONSTRUCCIÓN EN EL ANTIGUO PERÚ. CONSTRUCTION IN THE ANCIENT PERU

Juan Luis Bouso Aragonés ⁽¹⁾

(1) Eral Perú. Jr. Pablo Bermúdez, 150. Of. 6A. Lima 1. Perú. E-mail: ilbouso@eralgroup.com

Visión general de las construcciones en el antiguo Perú. Sus particularidades, dependiendo de la geografía donde se localizan, y las diferentes culturas que las crearon. Una diversidad única originada por sus tres regiones Costa, Sierra y Selva.

General view of construction in ancient Peru. Its features related to different locations where built and cultures involved. A unique diversity originated by the three Peruvian regions peculiarities, Coast, Mountain and Forest.

Índice:

1. Introducción
2. Las culturas en el Perú y sus construcciones
 - 2.1. Periodo Lítico
 - 2.2. Periodo Arcaico
 - 2.2.1. Caral
 - 2.3. Periodo Formativo
 - 2.3.1. Sechín
 - 2.3.2. Chavín de Huántar
 - 2.3.3. Cupisnique
 - 2.3.4. Paracas
 - 2.3.5. Salinar
 - 2.4. Desarrollos Regionales
 - 2.4.1. Mochicas
 - 2.4.2. Recuay o Pashash
 - 2.4.3. Cajamarca

2.4.4. Huarpa

2.4.5. Huarás

2.4.6. Tiahuanaco

2.4.7. Huari

2.4.8. Pucará

2.4.9. Vicus

2.4.10. Virú o Gallinazo

2.4.11. Lima

2.4.12. Nazca

2.5 Estados regionales Tardíos

2.5.1. Chachapoyas

2.5.2. Sicán o Lambayeque

2.5.3. Ica-Chincha

2.5.4. Ychsma

2.5.5. Chancay

2.5.6. Huanca

2.5.7. Chanca

2.5.8. Chimú

2.5.9. Inca

2.6 Época Colonial

3. Historia o Ciencia Ficción

3.1. Caral

3.2. Wiracocha

3.3. Atlantes

3.4. Nazca

3.5. Tallado de piedras

4. Bibliografía

1. INTRODUCCIÓN

Cuando hablamos del Antiguo Perú nos referimos al territorio que a la llegada de los españoles, en 1531, ocupaba el Imperio Inca desde el sur de Colombia hasta la mitad de Chile, incluyendo Ecuador, el Perú de hoy, Bolivia y el noroeste de Argentina, figura 1.

Es fácil entender que en tan vasto territorio, unos 5 000 km de longitud, podamos encontrar hoy construcciones sumamente heterogéneas, en las que varían su estructura, los materiales constructivos, su orientación y su significado. Además de la influencia de las diferentes culturas que se desarrollaron en estos territorios del Pacífico Sur, la geografía fue sin duda lo que más influyó en las construcciones.

El Perú está formado por tres zonas o regiones tan distintas entre sí que bien pudiera decirse que son países diferentes, La Costa, La Sierra y La Selva como gustan decir en el Perú de hoy. Realmente el país queda dividido en tres por la cordillera de Los Andes, que corre prácticamente paralela a la costa del Océano Pacífico, y esto hace que las tres regiones posean climas absolutamente distintos, y estén habitadas por gentes de diferente constitución, cultura y costumbres, de ahí el que pueda decirse que el Perú está constituido por tres países, figura 2.



Fig. 1: El antiguo Perú

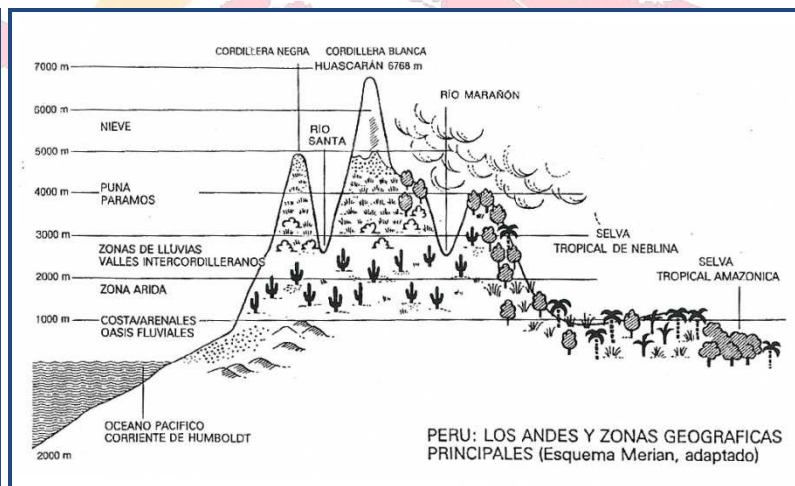


Fig.2: Perú y sus zonas geográficas

La Sierra, formada por una primera cadena de montañas de menor altitud, cercana a la costa, conocida como Cordillera Negra y otra segunda, donde se encuentran los picos de mayor altura, conocida como Cordillera Blanca, supone la región más folclórica del país, pues es donde habitan la mayoría de los descendientes del pueblo inca, lo que no quiere decir que sea la más poblada, ni la más influyente. Las construcciones importantes en esta zona del altiplano son fundamentalmente de piedra, existiendo también construcciones de adobe ligeramente distintas que las de la costa, pues han sido diseñadas para soportar las bajas temperaturas nocturnas. La calidad y dimensiones de las construcciones en piedra existentes en la sierra

peruana no han sido igualadas ni tienen parangón con otras en cualquier lugar del mundo, especialmente las legadas por el imperio Inca.

La Selva está marcada por la cuenca del mayor río del mundo, el Amazonas, y los dos grandes ríos que en su confluencia lo forman, el Marañón y Ucayali. Cabría distinguir una zona de selva alta, lo que en el Perú se conoce como Ceja de Selva, situada en las estribaciones de la cordillera. Las construcciones en esta región son generalmente realizadas en materiales vegetales, diferentes maderas y bambú, teniendo todas ellas un denominador común, un techo confeccionado en hojas de palmera que sirve de protección frente a la lluvia al mismo tiempo que permite el paso del aire, importantísimo en esta zona tan calurosa y húmeda. En la zona de selva alta pueden encontrarse numerosas construcciones en piedra, especialmente aquellas dedicadas a ritos funerarios.

2. LAS CULTURAS EN EL PERÚ Y SUS CONSTRUCCIONES

Sería innumerable, y queda fuera del contexto de este trabajo, recoger todas las culturas que habitaron en el antiguo Perú, por lo que nos vamos a limitar a mencionar solamente aquellas principales cuya influencia resultó determinante para la constitución del Perú de hoy, y que dejaron un legado importante en construcciones.

En la exposición se ha tratado de seguir un orden cronológico en base a la fecha en que se establece el comienzo de cada cultura, sin considerar la fecha en que ésta se extingue, desaparece o es reemplazada por otra cultura posterior.

2.1. PERIODO LÍTICO

Hay discrepancia en la fecha de los primeros asentamientos humanos en Perú, entre los años 18 000 a.C. y año 13 000 a.C., estando confirmada esta última por los restos líticos encontrados en las cuevas de Pikimachay en Ayacucho y Guitarrero en Ancash.

Al norte del Perú en el departamento de Libertad se ha descubierto recientemente el asentamiento Paiján conteniendo restos humanos, fechados sobre el año 8 000 a.C.

En los alrededores de Lima, en la desembocadura del río Chillón, se encuentra el asentamiento Chivateros, considerado uno de los mayores talleres de elaboración de utensilios líticos, fechado sobre el 8 000 a.C.

La primera prueba palpable de la presencia del hombre en Perú se encuentra en las cuevas de Toquepala y Lauricocha, donde además de abundante material lítico se han encontrado pinturas rupestres con escenas de caza, datadas en ambas cuevas sobre el 7 500 a.C.

No podemos dejar de mencionar la cultura Chinchorro, desarrollada en el 5 000 a.C. en la costa sur del Perú y norte de Chile. Fueron un pueblo nómada, que se alimentaban principalmente de los recursos marinos. En el sitio arqueológico situado en una playa de Arica se descubrió un cementerio con una extensa colección de momias que está considerada una de las primeras del mundo, tanto por su antigüedad, miles de años anteriores a las momias de Egipto, como por las técnicas de momificación que desarrollaron, entre las que destaca la elaboración de momias infantiles.

Al norte de Lima se encuentra el sitio arqueológico Bandurria, fechado sobre el 3 500 a.C., que debe su denominación a la presencia abundante del ave del mismo nombre, un Ibis grande. El área se ha dividido en dos sectores, el Doméstico y el Monumental. Lamentablemente la irrigación de unas labores agrícolas cercanas al sitio han provocado la destrucción de la mayor parte de las evidencias arqueológicas del sector Doméstico y el sitio se encuentra ocupado por varias familias. El sector Monumental posee cuatro pirámides escalonadas y seis montículos pequeños. Por la estructura de sus construcciones se supone que hubo conexión con la zona vecina de Caral. Las construcciones de Bandurria fueron elaboradas con canto rodado unido con argamasa de barro, lo que les da unas características únicas, pues los demás sitios se han construido con piedra tallada en bloques.

2.2. PERIODO ARCAÍCO

2.2.1. **Caral:** Ésta ciudad está considerada actualmente como la más antigua de América. Su antigüedad se remonta a 5 000 años, es decir unos 3 000 años a.C., muy anterior en el tiempo a la cultura Olmeca, en México, surgida sobre el 1 200 a.C., y considerada hasta hace poco como la cultura más antigua de América.

Caral está situada a unos 200 km al norte de Lima, sobre el valle del río Supe. A partir del año 1 905 comienzan a investigarse los asentamientos en el valle del Supe, pero no es hasta 1 997 que se presenta el primer trabajo sobre La Ciudad Sagrada de Caral, siendo declarada patrimonio de la humanidad el año 2009, en Sevilla, figura 3.

El descubrimiento de la Ciudad de Caral, cuya antigüedad ha sido confirmada por 42 fechados de radio-carbono, significa un cambio absoluto en los esquemas que hasta el momento se tenían sobre el desarrollo de la civilización en el continente americano. Hay que tener en cuenta que el desarrollo de civilización coincide en el tiempo con las de Mesopotamia y Egipto.

Hasta el hallazgo del asentamiento de Caral, la cultura Chavín de Huántar, datada sobre los 1 500 años a.C. era considerada como el foco cultural más antiguo del Perú. Hoy, ésta ciudad sagrada reviste una importancia única, pues en opinión de los expertos su organización económica, social, política y religiosa, sentó las bases del sistema socio-político que tendrían posteriormente las poblaciones de los Andes Centrales.

Es interesante mencionar que en este asentamiento se han descubierto flautas construidas con huesos de pelícanos, que guardan un gran paralelismo con las conocidas flautas incaicas, antaras, sikus o zampoñas. Igualmente se han descubierto utensilios de cuerdas con nudos sumamente parecidos a los quipus de los incas, lo que podría suponer el origen de éste elemento tan común en las culturas precolombinas posteriores.



Fig. 3: Caral, vista aérea

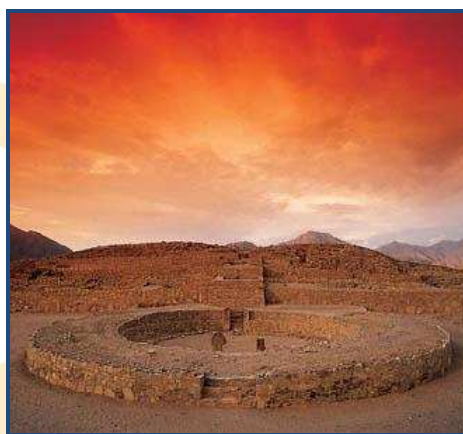


Fig.4: Caral, Templo

También es interesante destacar el descubrimiento de objetos conocidos como “El ojo de Dios”, un armazón de dos palitos colocados en forma de cruz, sobre el que se ha tejido una cobertura, a modo de espiral, con hilos de algodón de diferentes colores, adquiriendo una forma final romboidal. Curiosamente estos objetos pueden encontrarse hoy día en algunas de las tribus amazónicas, como la Asháninka y los Shipibos, al igual que en la bahía de Paracas.

En relación a sus construcciones Caral muestra un diseño arquitectónico planificado y monumental, armonizando la ciudad con los cerros circundantes, en el que se conjugan los edificios políticos y religiosos, con los residenciales, figura 4.

2.3. PERIODO FORMATIVO

2.3.1. Sechín: Ésta cultura se desarrolla hacia el 1 800 a.C., en el departamento de Ancash, sobre la falda norte del cerro Laguna, muy cerca del mar. La zona arqueológica está constituida por un complejo arquitectónico de siete edificios, seis de ellos construidos con piedras y mortero de barro, y uno construido enteramente con adobes de forma cónica, también unidos por barro. Circundando el complejo existe un muro grueso y alto que lo delimita, el cual se ha formado incorporando unas piedras lajas de diorita con grabados en su superficie, unas de gran tamaño con representaciones de guerreros o sacerdotes y otras menores con grabados macabros de cuerpos seccionados, cabezas, y otras partes del cuerpo humano, representando supuestamente enemigos vencidos.

2.3.2. Chavín de Huántar: Ésta importantísima cultura surge a partir del 1 200 a.C. y permanece hasta el 200 a.C. Además de las más antiguas, es sin duda la cultura

de mayor influencia en todo el Perú, aparte de la cultura Inca, y se considera como la cultura madre de la civilización andina. Se asienta en la provincia Huari del actual departamento de Ancash, en el centro del país, sobre la cordillera de los Andes a 3 177 m.s.n.m., figura 5.

El sitio arqueológico de Chavín constituye uno de los monumentos arqueológicos más importantes del Perú, que fue declarado Patrimonio de la Humanidad en 1 985. Su centro ceremonial en “U” es un conjunto de edificios piramidales fundamentados sobre una extensa red de galerías subterráneas con varios niveles, figura 6, constituido por dos templos principales, el nuevo y el viejo y unas plazas hundidas en cuyas paredes hay incrustadas una serie de “Cabezas Clavas”.

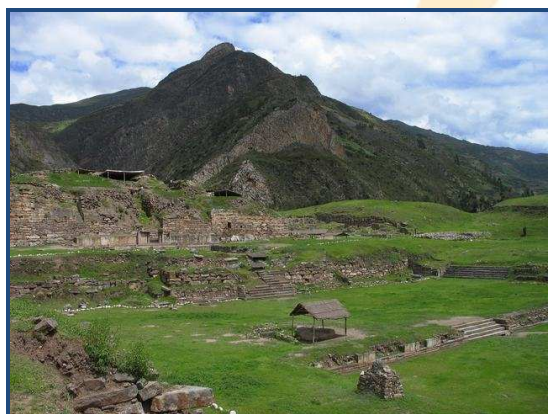


Fig. 5: Chavín de Huántar, vista aérea



Fig.6: Chavín de Huántar, galerías subterráneas

Debajo del templo principal, en una encrucijada de galerías se encuentra un monolito de granito blanco (granodiorita) de 5.53 m de altura que representa un personaje antropomorfo, de pie, con su superficie decorada en técnica de bajo relieve. Éste ídolo, conocido como El Lanzón, puede ser considerado el elemento más relevante de Chavín, figura 7.

Además de este monolito, se encontraron otros dos importantes monumentos: El Obelisco Tello, un pilar de granito de 2,52 m de altura, de corte trapezoidal y esculpido en sus cuatro caras, que representa una divinidad como unión de dos caimanes, rodeados de un conjunto extenso de figuras que parecen servirle de alimento, figura 8. La Estela Raimondi, una losa de granito de 1.98 m por 0.74 m, con una de sus caras trabajada en bajo relieve, representando una divinidad clásica con dos báculos, que está presente en multitud de civilizaciones posteriores a la de Chavín.

Todos los templos fueron construidos en piedra, y en algunos casos se emplearon rocas con diferentes tonalidades para reflejar zonas de luz y sombra. El nivel constructivo es altísimo, como lo prueba el hecho de que estas construcciones hayan llegado hasta nuestros días sin grandes daños. La red de galerías subterráneas es sumamente compleja y denota un alto grado de conocimiento. En su interior sorprenden estratégicos haces de luz, procedentes del exterior que crean una penumbra que permite caminar con cierta seguridad por ellos. Las condiciones

acústicas de estas galerías son inmejorables, y puede escucharse la voz de una persona situada a gran distancia.

Chavín constituye un lugar estratégico en Los Andes centrales en el que concluyen rutas que unen La Costa con La Sierra y La Selva, por lo que se cree fue un centro de peregrinación del antiguo Perú. La mayoría de los animales representados en estas construcciones son originarios de la selva, el jaguar, el caimán, la anaconda, y ello podría suponer que le origen de esta cultura fuese precisamente la selva.

Un gran enigma, representa el gran número de acueductos, canales y caídas de agua existentes en el lugar, que permitía crear mediante el paso del agua, fenómenos acústicos que asemejaban al rugido del jaguar, supuestamente para contribuir al realce de actos religiosos que tuviesen lugar en la plaza principal, en los que posiblemente se empleasen hierbas alucinógenas para facilitar la conexión con los Dioses.



Fig. 7: Chavín de Huántar, El Lanzón



Fig.8: Chavín de Huántar, Obelisco Tello

2.3.3. Cupisnique: Se sitúa esta cultura en la costa norte del Perú, en el departamento de Libertad, y se desarrolló paralelamente a la Chavín, entre los años 800 a.C. y 200 a.C., por lo que también se la conoce como el Chavín Costeño, aunque recientemente se ha puesto en duda la relación entre estas dos culturas. Representa el precedente de la cultura Mochica y los mayores vestigios de ella se encuentran en el valle del río Moche del cual tomaría su nombre ésta última. Su centro arqueológico más conocido es la Huaca de los Reyes, en el complejo Caballo

Muerto constituido por ocho pirámides principales construidas en piedra y barro, entre las que destaca la Huaca de los Reyes en la que aparecieron varios frisos mostrando cabezas macizas esculpidas en barro, figura 9.

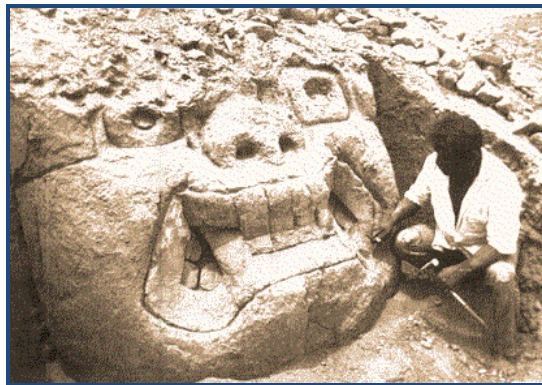


Figura 9: Cupisnique, Cabezas de barro



Figura 10: Paracas, El Candelabro

2.3.4. Paracas: Esta cultura contemporánea con la Cupisnique, está presente entre los años 700 a.C. y el 200 d.C. Se sitúa igualmente en la costa del Pacífico, pero al extremo sur del Perú, en una península situada entre los ríos Ica y Pisco que recibe este nombre, en el departamento de Ica.

La zona de Paracas es absolutamente desértica y no existe ningún río cercano, lo que pone en duda que realmente en estos territorios tuviese lugar el nacimiento de una cultura. Varios expertos opinan que realmente Paracas no es una cultura, sino que fue un cementerio, pues de hecho todos los vestigios encontrados corresponden con patrones funerarios.

El nombre de Paracas ha sido difundido ampliamente a través de todo el mundo, gracias a sus extraordinarios trabajos textiles de una belleza impresionante, tanto en lo que respecta a sus dibujos como al colorido de sus paños, mantos, y otros numerosos artículos.

Igualmente, aunque hasta el momento su origen es todavía un misterio, y parece claro que su realización no corresponde a la época de desarrollo de esta cultura, el geoglifo conocido mundialmente como El Candelabro, que tantas interpretaciones de ficción ha tenido, ha contribuido a difundir el nombre de Paracas. Probablemente la explicación más lógica sería que su construcción se deba a la cultura Nazca, pues al igual que las famosas líneas, su trazado ha sido realizado sobre arena endurecida, figura 10.

Dentro de la cultura Paracas pueden distinguirse dos periodos, el más antiguo denominado Paracas-Cavernas del 700 a.C. hasta el 200 a.C. y otro más moderno conocido como Paracas-Necrópolis del 200 a.C. hasta el 200 d.C.

El primer periodo está influenciado por la cultura Chavín. La cerámica es generalmente polícroma, a diferencia de la del segundo periodo que es monocroma.

Los enterramientos en el primer periodo los realizan en unas cavernas excavadas en el suelo, en forma de botellón, de ahí el nombre que toma este periodo, mientras que en el segundo las tumbas se excavan formando un cementerio. Los fardos funerarios no se cubren con manto en el primer periodo, mientras que en el periodo Necrópolis se cubren con mantos policromados.

El desarrollo textil en el segundo periodo es muy elevado, con telas finas elaboradas en algodón y lana de camélidos, con tonalidades delicadas y armoniosas, en base a 9 colores que han dado lugar a 190 tonalidades distintas. Las técnicas de los bordados incluyendo fibras de oro plata, o inclusive de pelo humano o de animales son extraordinarias, y ello ha sido la razón de la popularidad que han alcanzado los tejidos de esta cultura.

2.3.5. Salinar: Al decaer la cultura Chavín pequeños señoríos de la costa norte se unieron y conformaron ésta cultura, comenzando el año 500 a. C. hasta principios de nuestra era, marcando una transición desde la cultura Cupisnique hasta la cultura Moche. Mejoraron y ampliaron los sistemas de irrigación, aumentando así las zonas cultivables.

En sus construcciones utilizaron adobes moldeados, y en la cerámica marcaron el cambio de la cerámica negra a la roja, y en sus piezas aparecen las primeras escenas eróticas, luego tan extendidas en las cerámicas de las culturas posteriores. Emplearon el cobre y fueron los primeros en alear este metal con oro.

2.4. DESARROLLOS REGIONALES

2.4.1. Mochicas: La civilización Moche, surge sobre los 300 a. C. y permanece hasta los 700 d.C. Ocuparon los valles de la costa norte peruana, Moche, Chicama y Virú, todos ellos en el departamento Libertad, llegando inclusive hasta Lambayeque al norte.

Es sin duda, después del imperio Inca, la cultura precolombina más conocida dentro y fuera del Perú, gracias al descubrimiento de la tumba del Señor de Sipán, equiparable en cierto modo a la tumba de Tutankamon en Egipto, y supuso un hito transcendental en el conocimiento de las culturas peruanas.

Los mochicas alcanzaron un desarrollo importantísimo en la ingeniería hidráulica, como lo demuestra la extensa red de canales de irrigación y presas que construyeron a lo largo de los territorios que ocuparon, lo que les permitió desarrollar una gran producción agrícola, que a su vez les proporcionó una sólida economía.

El mar representaba para los mochicas una fuente alimenticia estable, y por ello desarrollaron la fabricación de barcas construidas con totora, como las que todavía hoy pueden verse en las playas del pueblo pesquero Huanchaco, cercano a la ciudad de Trujillo, figura 11.

En la cerámica peruana, los Mochicas son el referente máximo. En sus elaborados trabajos representando hombres, animales, divinidades, etc., en escenas cotidianas y ceremoniales, sobresale la expresividad y perfección de los trazos, al igual que su colorido.



Fig.11: Barcas de totora, Huanchaco, Libertad



Fig.12: Cerámica Mochica, Cabeza

La cerámica mochica constituye un testimonio documental de excepción, porque las escenas representadas en ella permiten conocer la vida y costumbres de esta cultura, compensando la falta de documentación escrita. Es de destacar su cerámica esculturizada, con vasijas que adoptan las formas de las figuras que representan. Son famosas sus vasijas cerámicas representando escenas de acción en las que sobresale el realismo, movimiento y expresión de las caras, figura 12.

Hay constancia clara del empleo de moldes para la elaboración de piezas cerámicas de uso cotidiano y ceremonial, lo que justifica el gran número de piezas que se han encontrado. Podría decirse que los moches fueron precursores de la fabricación de vajilla en serie, especialmente aquellas piezas de uso domestico que prácticamente carecen de decoración.

Como base de sus construcciones utilizaron el adobe, el cual moldeaban en piezas de pequeño tamaño con el que construían sus edificaciones. De sus construcciones destacan las Huacas del Sol y la Luna, situadas en un área próxima a la ciudad de Trujillo, figura 13, que se presume fue su capital o principal centro. Ponían un alto interés en el acabado de sus construcciones, como se ha podido comprobar al descubrir paredes en las citadas huacas con pinturas de un colorido espectacular que milagrosamente se han conservado hasta nuestros días, algunas de las cuales muestran a su Dios, Ai Apaec, figura 14.



Fig. 13: Huaca de la Luna, Mochica



Fig.14: Ai apaec, Friso Huaca de la Luna

Otro complejo arqueológico importante es el conocido como “El Brujo”. Está ubicado en el valle del río Chicama, al norte de Trujillo, departamento Libertad. Es un complejo ceremonial, que fue ocupado previamente por la cultura Cupisnique, y que posteriormente a los Mochicas, siguió siendo empleado por la cultura Lambayeque, Chimú e inclusive Inca. Sus principales monumentos son la Huaca Prieta, la Huaca Cortada, y La Huaca Cao, donde fue encontrada la momia conocida como la Señora de Cao.

En la Huaca Prieta se han encontrado evidencias textiles de culturas anteriores, que pueden remontarse hasta 4 000-2 500 a.C. La Huaca Cortada se ubica frente a la Huaca Cao, y todavía no ha sido excavada. La Huaca Cao es una gran pirámide de barro de unos 30 m de alto, en cuyas paredes se conserva iconografía mochica. Frente a la pirámide existe una gran plaza desde donde se pueden ver la fachada escalonada de la pirámide, donde se encontraron relieves policromados, representando danzarines y la imagen de un personaje portando la cabeza de un prisionero, conocida como “El decapitador”. La cultura Lambayeque siguió utilizando la plaza principal como un cementerio, y se han descubierto una gran cantidad de momias.

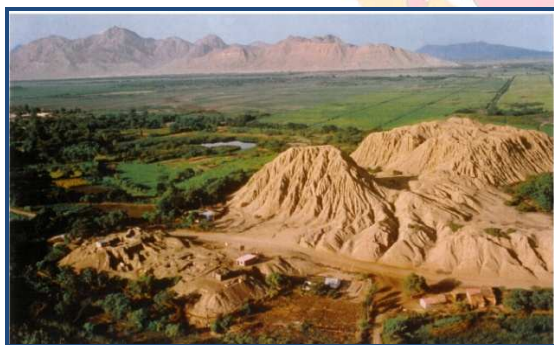


Fig.15: Complejo Arqueológico Huaca Rajada, Sipán



Fig.16: Reconstrucción hipotética del Santuario Sipán

No solo destacaron como ingenieros y ceramistas, también demostraron un alto conocimiento de la metalurgia del cobre, fabricando herramientas, armas y utensilios de uso diario. Sorprenden especialmente sus trabajos de dorado de cobre, en los que este metal queda cubierto con una finísima capa de oro.

La tumba del Señor de Sipán, descubierta el año 1987 en el lugar arqueológico conocido como Huaca Rajada, situada a 35 km al sureste de Chiclayo, constituye sin duda el más importante hallazgo arqueológico en el Perú, después del descubrimiento de la ciudad de Machu Pichu, figuras 15 y 16. La fecha estimada del enterramiento se ha fijado para el 250 de nuestra era.



Fig. 17: Señor de Sipán, Aretes

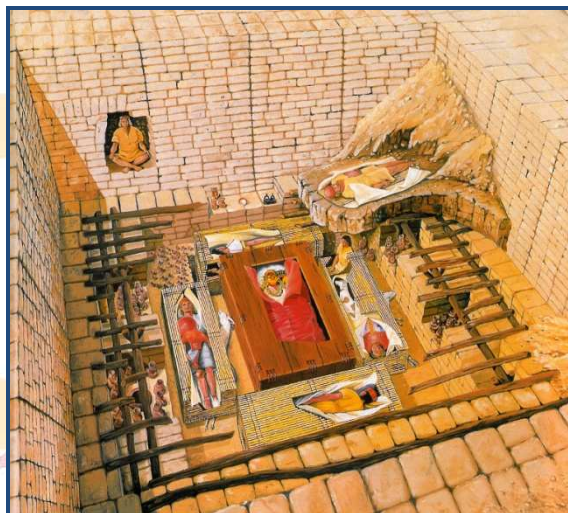


Fig. 18: Tumba del Señor de Sipán, recreación

La continuación de los trabajos de exploración fructificaron en el descubrimiento de dos tumbas más, la del Sacerdote, contemporáneo del Señor y situado inmediatamente debajo de la de éste, y una segunda, situada en un nivel inferior a la del Sacerdote, la del Viejo Señor de Sipán, antecesor en cuatro generaciones al Señor como han demostrado las pruebas de ADN que se realizaron a las momias.

En la tumba del Señor de Sipán, destaca la gran profusión de joyas, en oro, plata y piedras semi-preciosas, figura 17. Sus dioses principales el Sol y la Luna quedan representados por el Oro y la Plata respectivamente. Igualmente la tumba contenía un elevadísimo número de recipientes cerámicos de diferentes tamaños conteniendo alimentos que supuestamente se introducía en la tumba para que el Señor pudiese alimentarse en su largo viaje.

Junto con el Señor y en consonancia con su nivel jerárquico se enterraron ocho personas más, posiblemente sacrificadas a su muerte: su esposa, dos concubinas, un jefe militar, un porta-estandarte, un soldado guardián, un vigilante y un niño. Acompañaban al enterramiento dos llamas blancas y un niño. Llama la atención que algunos cadáveres que acompañan al Señor tengan amputado el pie izquierdo, supuestamente para asegurar su permanencia, figura 18.

2.4.2. Recuay o Pashash: Surge ésta cultura en el 200 a.C. hasta el 600 d.C., ubicándose en la sierra central, departamento de Ancash, abarcando casi todo el callejón de Huaylas, y llegando por el este hasta el río Marañón, y por el oeste hasta

las partes altas del río Santa, que marca el callejón, un valle entre la cordillera Blanca y la cordillera Negra.

En cualquier caso no existe consenso sobre su origen, y algunos arqueólogos han probado que en la población de Pallasca, al norte del callejón de Huaylas, se desarrolló una cultura, que bautizaron como Pashash, sugiriendo que este nombre reemplace al de Recuay.

Por su enclave geográfico se considera que esta cultura fue una extensión de la cultura Chavín, que posiblemente convivió con la civilización Mochica.

Era una cultura basada en un poder religioso, es decir una teocracia, sin existencia de un ordenamiento político. Un Sumo Sacerdote interpretaba los deseos de los dioses y un grupo de sacerdotes militares dirigían al pueblo. Su centro está ubicado en la zona llamada Pashash al

Su economía se basaba principalmente en la agricultura y en la ganadería de camélidos, de los que obtenían lana, cuero y carne.

Sus construcciones eran principalmente de piedra y tallaban monolitos con motivos de cabezas de felinos, animales. En sus trabajos cerámicos emplearon caolín, con lo que consiguieron piezas de un gran acabado. Las tumbas de la cultura Recuay son las más elaboradas del área andina, construyendo imponentes mausoleos en piedra como los encontrados en Molleurco, Catayoc y Pashash. También construyeron algunas tumbas en forma de galerías subterráneas como la de Huailcahuaín.

Vivieron en aldeas fortificadas y galerías subterráneas, construidas con piedras y rellenos de tierra, lo que permite pensar que fundamentalmente eran un pueblo guerrero.

2.4.3. Cajamarca: Esta cultura se asentó en el norte del Perú, en el actual departamento de Cajamarca, sobre la cordillera de los Andes, surgiendo en el 200 a.C. hasta el 1 300 d.C.

Alcanzó una gran extensión, hasta el departamento de Amazonas al este, Libertad al sur llegando inclusive hasta el departamento de Ancash, aunque su mayor actividad tuvo lugar en el valle interandino de Cajamarca. Algunos investigadores creen que esta cultura está influenciada por la cultura Huari, pero no hay unanimidad de criterios.

Los mayores vestigios legados por esta cultura son cerámicas de muy alta calidad elaboradas con pastas blancas incorporando caolín en las capas externas. Esto permite comprender el gran nivel de acabado de las decoraciones, con dibujos muy cuidados y precisos, y permite catalogar ésta cerámica como la más fina de toda la América precolombina. Características de esta cultura son las cerámicas tipo trípode.

Son interesantes el tipo de enterramientos desarrollados por la cultura Cajamarca, destacando los cementerios conocidos como Ventanillas de Otuzco, nichos excavados sobre acantilados de roca volcánica, de sección cuadrada o rectangular, figura 23. Existen otros cementerios similares como los de Combayo, que posiblemente fueron utilizados anteriormente en el periodo lítico, sobre 1 000 a.C., ya que se han encontrado utensilios que no corresponden con la cultura Cajamarca.



Fig. 23: Cajamarca, Ventanillas de Otuzco

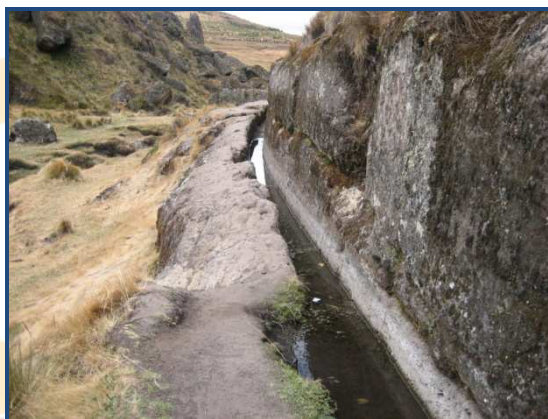


Fig. 24: Cajamarca, canales de Cumbemayo

A 20 km de la ciudad y ubicado en las faldas del cerro Cumbe a 3 400 m.s.n.m. se encuentra el complejo arqueológico más importante de la sierra peruana, Cumbemayo, un complejo hidráulico ceremonial consistente en un canal labrado sobre la roca viva y decorado profusamente con petroglifos. Se ha establecido que los trabajos abarcan desde épocas anteriores a la cultura Chavín, hasta el periodo del incanato. La longitud del complejo es de 9 km y los canales labrados en la roca tienen una anchura de 35-50 cm, con unos 30-75 cm de profundidad. La ejecución es cuidadosa y muy tecnicada con zonas especialmente diseñadas para absorber la energía frenando el agua a fin de evitar la erosión, figura 24. Además del complejo hidráulico en la zona se encuentran un gran número de petroglifos, bien grabados sobre las mismas paredes de los canales como sobre rocas de gran tamaño.

Independientemente de la cultura de Cajamarca, la ciudad que lleva su nombre pasó a la historia universal por haber sido aquí donde el conquistador español Francisco de Pizarro libró su primera batalla contra el imperio Inca, haciendo prisionero a su emperador, Atahualpa.

Según registraron los cronistas a la llegada de los españoles el imperio se encontraba dividido en dos facciones, liderada cada una de ellas por un hijo del Inca anterior Huayna Cápac. Al sur, nacido en Cuzco, Huáscar su hijo legítimo, y al norte, nacido en Quito, Atahualpa, hijo considerado bastardo por la sede del imperio. Atahualpa viajaba hacia el sur para encontrarse con Huáscar, y había parado a descansar en Cajamarca, famosa por sus baños de aguas termales, que hasta hoy permanecen, y reciben el nombre de "El baño del Inca", situados a poca distancia de Cajamarca.

Pizarro que se encontraba en la costa norte del Perú, es informado de la estancia de Atahualpa en Cajamarca, situada a una altitud de 2 700 m.s.n.m. y decide ascender al altiplano para encontrarse con él. En Cajamarca tiene lugar el primer encuentro entre los dos ejércitos y venciendo en la batalla, Pizarro hace prisionero a Atahualpa. La historia nos cuenta como Atahualpa ofrece a Pizarro llenar una habitación de oro a cambio de su libertad. Aquella habitación, conocida hoy como “El cuarto del rescate” también se ha conservado hasta nuestros días, y está situada dentro del recinto municipal de la ciudad.

2.4.4. Huarpa: Es una cultura regional que surge en la zona de Ayacucho sobre el 200 a.C. hasta el 550 d.C. Antecedió a la cultura Huari, y mantuvo contactos con la cultura Nazca de la costa.

Tuvo una población muy numerosa, como lo prueba que se han encontrado muchas viviendas en la zona de Ayacucho, casi siempre ligadas a complejos agrarios. Se desconoce el motivo de su desaparición. Su cerámica de color blanco con pintura negra, es característica de esta cultura.

2.4.5. Huarás: Procedentes de los Andes, ésta cultura llega a los lugares ocupados por la cultura Chavín, sobre el 200 a.C. y permanece hasta el 200 d.C. Fue una cultura con una ideología y organización social a la de Chavín, por lo que destinaron partes del templo a viviendas comunes y otras las destruyeron.

Su presencia supuso la total desaparición de la cultura Chavín.

2.4.6. Tiahuanaco: Esta importantísima cultura, que tanto influyo posteriormente sobre la cultura Inca, surge hacia el año 200 a.C. y se extingue sobre el 800 d.C. o el 1 200 d.C. si se considera su periodo de alianza con la cultura Huari. Ocupa el altiplano entre Perú y Bolivia, a 3 842 m.s.n.m.

Antiguamente esta cultura se denominaba Taipicala o Taipincatha que en lengua aymara significa “estar en medio”, porque los indios del Collao creían que su pueblo se hallaba en medio del mundo. Todos los vestigios encontrados indican que en cierto modo era un centro de peregrinación, y desde allí todo convergía para ser redistribuido.

Hacia el 550 d.C. Tiahuanaco dejó de ser un centro religioso para convertirse en centro urbano, conviviendo pacíficamente con la cultura Huari.

El complejo arquitectónico está compuesto por varias construcciones arquitectónicas importantes: Kalasasaya, Templo Semisubterráneo, Pirámide de Akapana, Pumapunku, y Kerikala.

El templo Kalasasaya, denominación que proviene de kala=piedra y sayas=parado, erguido, Templo de las piedras erguidas, está ubicado en el centro del complejo, y orientado astronómicamente, de modo que en los equinoccios, 21 de marzo y 21 de septiembre, el sol nacía por la puerta principal de acceso. En el solsticio de verano,

21 de diciembre, el sol nacía por el ángulo de los muros N-E, mientras que en el de invierno lo hacía por la esquina de los muros S-E.

Es una gran plataforma rectangular con una escalinata de acceso y muros contruidos con grandes pilares monolíticos colocados verticalmente de roca arenisca. Tiene un patio hundido al que se descendía pasando por una puerta igualmente monolítica. En su esquina Noroeste se encuentra la célebre Puerta del Sol, figura 25. Dentro del templo existen otras dos esculturas: la estela Ponce y el monolito el Fraile.



Fig. 25: Tiahuanaco, Puerta del Sol



Fig. 26: Tiahuanaco, Templo semisubterráneo

El nombre “Puerta del Sol” carece de sentido y fue adoptado en el siglo XIX sin ninguna base. Está tallada en un solo bloque de roca andesítica de unos 10 000 kg de peso. El personaje esculpido en el dintel de la puerta es el mismo que aparece en la Estela Raimondi de Chavín de Huántar, conocido como Dios de los Báculos o de las Varas, lo que demuestra la vinculación innegable entre estas dos culturas, Chavín y Tiahuanaco, localizadas sobre los Andes, la primera al norte y la segunda al sur. Éste personaje divino, que probablemente representa al dios Wiracocha, constituye la principal referencia de Tiahuanaco.

El otro edificio ceremonial de importancia es el Templo Semisubterráneo, ubicado al este del Kalasasaya. Es de sección rectangular y su piso se halla por debajo del nivel del suelo. Las paredes interiores llevan incrustadas cabezas clavadas, que recuerdan las de la cultura Chavín, figura 26.

La mayor edificación es la conocida como Pirámide Akapana compuesta por varias terrazas que alcanzan una altura de ocho metros. Su planta está formada por la unión de dos rectángulos.

De la pirámide conocida como Pumapunku quedan solamente enormes piedras talladas que demuestran la monumentalidad de su construcción. Es una estructura piramidal de tres plataformas construida mediante sillares de roca labrados. Se piensa que esta edificación fue de las últimas en ser construida por su mejor nivel de acabado, lo que denota una técnica más depurada.

El templo conocido como Putuni o Palacio de los Sarcófagos, presenta una planta rectangular con cámaras funerarias en los muros interiores.

La cerámica típica de Tiahuanaco está constituida por el Quero, vaso en forma de timbal, similar al empleado posteriormente por la cultura Inca.

El Dios de los báculos, más la presencia del felino, el águila y otros elementos sugieren que Tiahuanaco fue un resurgimiento de la cultura Chavín, al igual que la cultura posterior de Pucará, en Puno, y la importante cultura Huari o Wari.

Al final de su existencia, la cultura Tiahuanaco se expande especialmente hacia el sur llegando hasta San Pedro de Atacama en Chile, a la Aguada en Argentina, Cochabamba en Bolivia, y al mismo tiempo avanza hacia el norte hasta la ciudad de Huari cerca de Ayacucho, cultura con la que constituye una importante alianza.

Tras la decadencia de Tiahuanaco surgen una serie de reinos en las cercanías del lago Titicaca, entre los que sobresalen el reino Colla y el reino Lupaca. Los Colla se expandieron hacia el sur, ocupando la zona norte de Argentina, Jujuy, Tucumán, etc., mientras que los Lupaca desde el altiplano del Titicaca se expandieron hacia el suroeste del Perú y noroeste de Chile. El vínculo de unión de estos reinos era la lengua aymara, además de que empleaban las mismas tecnologías y efectuaban los mismos tipos de enterramientos, en torres funerarias llamadas Chulpas, como la encontrada cerca de Puno, Sillustani.

2.4.7. Huari: Esta cultura surge sobre el año 600 d.C. y permanece hasta el 1 100 d.C. Es contemporánea con la cultura Tiahuanaco. La expresión cultural y religiosa de Tiahuanaco alcanzó a la cultura Huari cuando ésta se encontraba en pleno desarrollo, influenciándola fuertemente, por lo que también es conocida como Tiahuanaco-Huari, en cuyo caso a aquella se la denomina Tiahuanaco-Titicaca por su proximidad al lago.

Al parecer sobre los años 500 d.C. suceden grandes cambios climáticos originados por la “Corriente del Niño” que duraron 30 años consecutivos, lo que provocó una tremenda sequía por cuya causa muchos pueblos de los Andes centrales se conexas, constituyendo el sitio Huari, y tomando Ayacucho como su centro urbano. Uno de los pueblos más importantes que promovieron esta unión fue el Huarpa. Forzados por la difícil climatología, se vieron obligados a desarrollar un sistema de producción y distribución de alimentos eficiente que les permitiese sobrevivir en condiciones tan adversas.

Huari, limitada en superficie por el crecimiento de su población, comienza un periodo de expansión hacia todas las direcciones de los Andes, traspasando su eficaz organización estatal a los diferentes lugares donde llegaban. La expansión comercial y militar de la cultura Huari, arrastraba con ella la cultura Tiahuanaco, que aportó tecnología y religiosidad. La expansión Huari, que buscaba controlar nuevos territorios y pueblos que aportaran trabajo, se llevó a cabo, bien buscando alianzas

de modo pacífico, e instalando centros administrativos eficientes, o bien reubicando población en aquellos lugares sin desarrollar.

Una importante consecuencia de éste movimiento fue la creación de grandes ciudades, modernas y bien estructuradas, que cumplían funciones netamente urbanas como centro administrativo, político, religioso y militar, es decir crearon el concepto Ciudad.

Su eficiencia administrativa, con una base religiosa y militar, les permitió llegar al norte hasta Cajamarca por la sierra y hasta Lambayeque por la costa, y hasta Moquegua por el sur, cubriendo prácticamente toda la costa peruana, pero conviviendo siempre pacíficamente con Tiahuanaco, confirmando la alianza de las dos culturas.

Su fuerte presencia en la costa hizo que se construyeran ciudades por vez primera, y en el norte llegaron inclusive a ser causa de la desaparición de los Mochica, donde la gran ciudad de Chan-Chan construida por sus descendientes los Chimúes, es una muestra representativa de este movimiento. Su gran apogeo llega en el 1 000 d.C., momento a partir comienza su declive hasta el 1 200 d.C. que desaparece.

2.4.8. Pucará: La cultura surge contemporánea con la Huari y la Tiahuanaco, muy cercana a ésta última, a orillas del lago Titicaca, en el departamento de Puno, del 100 a.C. al 300 d.C. Su influencia fue muy limitada, siempre en los Andes, llegando por el norte hasta Cuzco y por el sur hasta Tiahuanaco. Hay algunas evidencias de su presencia en el sur de Perú, Moquegua, y en el norte de Chile, en Iquique.

Su mayor contribución fue en el campo agrícola, en el que destacaron por sus desarrollos ecológicos y sustentables, controlando los recursos naturales existentes y creando otros nuevos. Aparece por vez primera la domesticación de la Alpaca para obtención de lanas seleccionadas, con las que elaboraron tejidos que eran usados como intercambio comercial.

Los asentamientos Pucará se caracterizaron por su estructura jerarquizada de sitios, compuesta por un núcleo principal y centros de menor tamaño. El núcleo principal, Pucará, se compone de diferentes áreas: viviendas rusticas simples, de viviendas domesticas más complejas, estructuras civiles, construcciones piramidales de carácter ceremonial y una última zona de túmulos funerarios.

En Pucará, la construcción más importante es la pirámide Kalassaya.

2.4.9. Vicus: De los años 100 a.C. al 500 d.C., surge la cultura Vicus al norte del Perú en la costa de Piura, expandiéndose probablemente hasta la sierra sur de Ecuador. Al igual que la cultura Paracas, en su fase inicial se muestra como una expansión tardía de la cultura Chavín, lo que indica que posiblemente procedían de la sierra y posteriormente recibieron una fuerte influencia Mochica. Como la mayoría de los pueblos de la costa, su principal actividad fue la agricultura, motivo por el cual

construyeron complejos sistemas hidráulicos en base a depósitos colectores de agua y canales de irrigación.

Prácticamente no quedan vestigios constructivos porque principalmente empleaban adobe como elemento constructivo y desaparecieron. Su mayor legado fue la cerámica muy elaborada y con influencia de diferentes culturas sobre todo de la Chavín en sus primeros tiempos. En su periodo intermedio desarrollaron una cerámica propia que posteriormente se vio influenciada por la Mochica.

Existen numerosos enterramientos consistentes en pozos verticales en forma de bota, que pueden alcanzar una profundidad de hasta 15 m, con un diámetro medio de 0.8 m, y en los que curiosamente no se han encontrado cadáveres, posiblemente porque practicaban la cremación y solamente enterraban las cenizas envueltas en paños.

2.4.10. Virú o Gallinazo: Esta cultura coetánea de la Salinar surge del 200 a.C. hasta el 350 d.C., y se desarrolló en la costa central del Perú, entre los valles de La Leche y Santa. Su centro político fue el sitio conocido hoy con el nombre Gallinazo, de ahí el nombre también aceptado para esta cultura, un núcleo de edificios religiosos y administrativos rodeado de un gran número de viviendas.

Su cerámica es característica por ser fundamentalmente escultórica, generalmente de color rojo con detalles en pintura de color blanco. Los Virú fueron los creadores de los Huaco-Retrato, recipientes modelados con la forma de una figura, en la que los ojos tienen forma de grano de café. Ésta cerámica sería años más tarde perfeccionada por los Mochicas.

En metalurgia emplearon las técnicas de la costa norte, incrementándose el uso del cobre y dando comienzo a la elaboración de objetos con aleaciones de cobre y oro.

2.4.11. Lima: La cultura Lima que surge en el 100 a.C. y permanece hasta el 600 d.C., cubre el área territorial de la costa centro del Perú, desde el valle del río Chancay al norte hasta el valle del río Mala al sur, encerrando en su interior la ciudad de Lima, de la que recibe su nombre.

Se postula que los Lima eran de origen aymara, llegados a la costa central en una de sus olas invasoras sobre los Andes centrales, procedentes de sus remotos lugares de origen en Chile y Argentina. Los expertos se basan en coincidencias filológicas con numerosos vocablos empleados por esta cultura.

Numerosos sitios arqueológicos demuestran su presencia en la costa central, entre los que sobresalen Cerro Culebra, Maranga, Huaca Pucllana, Cajamarquilla, Catalina Huanca, pero sobresale por encima de todos Pachacamac, que posteriormente durante la época Inca tuvo una importancia capital.

La cultura Lima desarrolla una arquitectura que se caracteriza por el empleo de adobes de muy pequeño tamaño modelados a mano. Con estos pequeños adobes

se construían cuadriláteros cuyo interior se rellenaba posteriormente con piedras y tierra, a modo de tapial. La unión posterior de estos cuadriláteros formaba una plataforma, y superponiendo varias de éstas se constituía una pirámide. Esta tecnología se puede apreciar muy bien en Huaca Pucllana, figura 27.

Un sitio arqueológico de importancia es el Cerro Culebra, sobre la margen derecha del río Chillón, con un palacio de forma trapezoidal de varios cuerpos, rematado en una plataforma superior con escalera central de acceso, donde existía un mural con una pintura representando peces o serpientes entrelazadas.

Otra edificación sobresaliente es la conocida como Huaca Trujillo cerca de la antigua población de Cajamarquilla, que recibe su nombre por su más que probable influencia Moche.

La Huaca Maranga es una realización del último periodo de ésta cultura, donde se alcanza la madurez, especialmente en la cerámica, motivo por el cual este periodo se conoce como Maranga. Se supone que este lugar era la urbe principal de la cultura Lima.



Fig. 27: Lima, Huaca Pucllana



Fig.28: Lima, dios Pachacamac

El sitio arqueológico de Pachacamac, nombre de un dios, al que se le atribuía la creación del universo y todo lo contenido en él, fue comenzado a construir por la cultura Lima. En concreto las edificaciones debidas a ellos se supone que son las pirámides llamadas “Templo Viejo”, también llamado Urpiwachac, nombre de la esposa del dios, y otros edificios pequeños como el “Conjunto Adobitos”.

El templo de Pachacamac fue adquiriendo una gran importancia, lo que propició su ocupación por los Huari durante su expansión. Evidencia de ello es que aquí enterraron a importantes personajes de su cultura, y construyeron una nueva pirámide, el “Templo de Pachacamac” o “Templo Pintado”, que llegaría a convertirse en la sede del Oráculo que lleva el nombre del dios. El lugar se convirtió en centro de peregrinación para todo el Perú, aumentando la importancia de este dios y su templo, lo que fue causa de su posterior ocupación por los Incas, quienes ampliaron

el lugar construyendo el “Templo del Sol” y pasaron a considerar a Pachacamac como su máxima deidad.

En el año 1938 Alberto Giesecke encuentra entre escombros, delante del Templo Pintado la única imagen conocida de Pachacamac, llamada desde entonces “Ídolo de Pachacamac” pues su apariencia coincidía con la descripción de los cronistas españoles, figura 28. Como confirmación de la importancia del lugar, anteriormente en 1903 el arqueólogo Max Uhle excavó al pie del templo encontrando un cementerio que recibe su nombre, con una gran cantidad de enterramientos propios de la cultura Huari de Ayacucho.

Una gran cantidad de vestigios arqueológicos, construidos por ésta cultura en los terrenos que ocupa actualmente la ciudad de Lima, han sido muy dañados por su infraestructura y construcciones, y lamentablemente en muchos casos inclusive han desaparecido.

La base de su economía fue la pesca y la agricultura, y para su desarrollo realizaron dos notables obras de ingeniería que han llegado a nuestros días: El canal de riego “Río Surco” que lleva el agua del Rímac desde Vitarte hasta Chorrillos, el canal “Río Huatica” que transporta las aguas desde La Victoria hasta Maranga, y el canal “Río Magdalena” que regaba la zona NO del valle comprendido entre el río Rímac y Huaca Huantilla.

2.4.12. Nazca: La cultura Nazca surge en el año 200 d.C. como una continuación de la cultura Paracas-Necrópolis, y permanece hasta el 700 d.C.

Se establece en los valles de la costa sur, en los valles de Chincha, Pisco, Ica, Nazca y Acarí, del departamento de Ica. Todos estos valles están situados sobre una meseta de poca altitud sobre el océano y extremadamente árida, y con ausencia de tierras útiles para el desarrollo agrícolas, por lo que tuvieron que desarrollar una tecnología de riego basada en canales de riego, figura 19, y pozos, figura 20, interconectados por galerías subterráneas, para aprovechar el agua de las capas freáticas, a fin de compensar la escasez de ríos en la superficie.

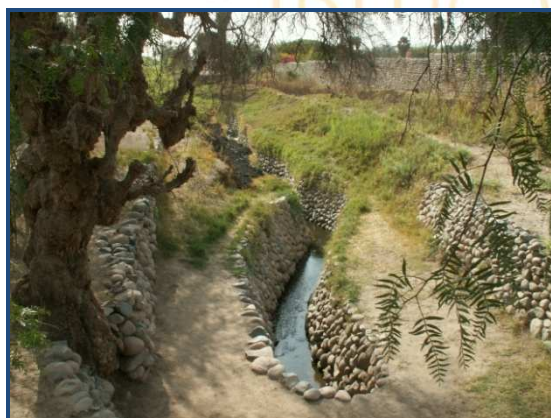


Fig. 19: Nazca, canales de riego



Fig. 20: Nazca, Pozos

Su zona de influencia llegó hasta Arequipa por el sur y hasta Ayacucho por el este, influyendo este contacto en la formación posterior de la cultura Huari, que acabó dominándola.

A diferencia de Paracas, en Nazca se desarrolla mucho más la cerámica los textiles, siendo considerada como la más avanzada y de mayor calidad de Perú. Destaca especialmente lo cuidado de sus dibujos y el colorido. Empleaban pinturas minerales con las que conseguían colores pastel de una tonalidad brillante que aplicaban antes de la cocción, lo que daba una gran duración.

La costumbre de cortar la cabeza de los enemigos, se convirtió en obsesión en la cultura Nazca. Desarrollaron una técnica muy depurada para la preparación de las cabezas, que ostentaban como elemento de poder.

La sequedad del desierto de Nazca ha permitido una perfecta conservación de las momias encontradas en los enterramientos, muchas de ellas aun con piel y cabello, siendo el único lugar del Perú donde pueden verse las momias en sus tumbas originales.

Son escasas sus construcciones, pero notable su conocimiento de la astronomía como lo prueban las universales Líneas de Nazca, que gracias a la aridez de la pampa del San José de Socos donde se trazaron, han podido llegar hasta nuestros días.

Las líneas ocupan una extensión de cerca de 500 km², y a pesar de ello no fueron descubiertas hasta 1926 por Toribio Mejía, dándose la paradoja de que se construyera la carretera Panamericana, que cruza las líneas entre los kilómetros 419 y 465, sin haber notado su presencia y por supuesto causando un importante daño al trazado de las mismas.

Sin embargo las líneas no obtienen notoriedad hasta 1941 en que un día 21 de junio, solsticio de invierno, día sagrado del Inti Raymi para los incas, el profesor norteamericano Paul Kosok haciendo mediciones sobre estas líneas, pudo percibir como el sol se ponía justamente sobre una de las líneas que estaba observando, por lo que dedujo que se trataba de una línea solsticial, trazada para indicar esta importantísima fecha en el calendario agrícola de los pobladores del antiguo Perú. Fueron inscritas en el Patrimonio de la Humanidad el año 1994.

Estudios posteriores de Kosok y de María Reiche, investigadora alemana que consagró su vida al estudio de las líneas, determinaron su antigüedad, fijando su pertenencia a la cultura Nazca.

Las líneas delgadas se trazaron removiendo la capa superior de piedras oscuras de forma que quedase a la vista la capa inferior de color amarillento, más claro. Para trazar las líneas más gruesas, y por tanto más profundas, se hicieron surcos de hasta 30 cm de profundidad. Las superficies grandes como trapecios, triángulos, etc. removiendo toda la capa superficial, figura 21.

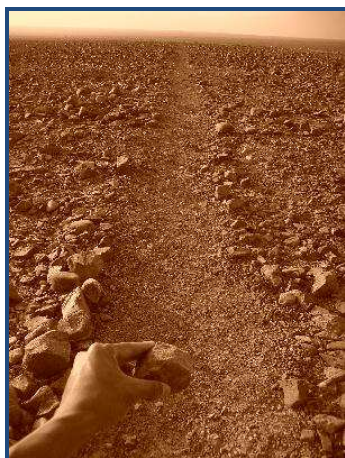


Fig. 21: Nazca, detalle de una línea



Fig.22: Nazca, Mono

Las líneas se han conservado hasta nuestros días gracias a las escasas precipitaciones, por no decir a la ausencia de lluvia, solo media hora cada dos años, conjuntamente con la existencia permanente de vientos sur-norte que provocan un efecto de limpieza, arrastrando arenas y otros elementos de la superficie de las líneas.

Numerosas conjeturas se han realizado sobre el significado y la razón de dichas líneas, y todavía no se ha llegado a conclusiones unánimes y definitivas, excepto que representan un inmenso calendario astronómico. Según María Reiche una gran mayoría de líneas rectas registran la salida de estrellas como *Sirio*, *Canopus*, además de los solsticios y equinoccios. Por ejemplo el mono, que tiene una longitud de 130 m, observada sobre el horizonte norte se identifica con la constelación de la *Osa Mayor*, con las constelaciones *Leo Mayor* y *Menor* como cola y las estrellas *Osa Mayor*, *Plekda*, *Megrez*, *Alth* y *Mizat* formando los dos brazos uno encima del otro, y *Canes Venatici* representando la cabeza, figura 22.

Hay una conclusión unánime, desde tierra estas líneas pasan desapercibidas, lo que significa que fueron trazadas para ser vistas desde el aire, y solamente pueden observarse en toda su inmensidad volando a más de 200 m de altura sobre el desierto, lo cual sigue suscitando numerosos interrogantes sobre la intención real de sus constructores, los Nazcas.

2.5. ESTADOS REGIONALES TARDÍOS

2.5.1. Chachapoyas: Esta cultura de la selva, sin duda la más desarrollada de esta región, surge en nuestra era, en el año 700 d.C. permaneciendo hasta 1 500 d.C. Ocupa el área meridional del departamento de Amazonas, al norte del Perú, en una zona de difícil acceso y con poca infraestructura, motivo por el cual no ha podido ser muy investigada, consiguientemente es todavía poco conocida porque ha tenido muy poca difusión fuera del país e inclusive dentro de él.

Se establecen en la selva alta andina, al este del río Marañón y al oeste del río Huallaga, con la mayoría de sus asentamientos en las cercanías del río Utcubamba. Supuestamente tuvieron su origen en las cordilleras andinas, aunque asimilaron rasgos amazónicos. Al parecer y por lo que conocemos por los cronistas, en concreto Cieza de León, eran un pueblo agraciado, “..indios blancos cuya hermosura era digna de soberanos, cuyos ojos eran azules, los cuales eran más blancos que los mismos españoles”.

Su organización político-social era en base a reinos autónomos, con un idioma común, que se unían solamente por temas religiosos o necesidades militares

Los Chachapoyas opusieron una gran resistencia a la expansión Inca, y de hecho la ocupación de su territorio nunca llegó a ser total. Fueron dominados en una primera ocasión por Túpac Inca Yupanqui, pero después se rebelaron durante el gobierno de Huayna Cápac, padre de Atahualpa y Huáscar, volviendo a ser sometidos finalmente.

Su cerámica no presenta características especiales que resaltar, no así sus trabajos textiles que son de enorme belleza y gran colorido. En su evolución se pueden distinguir tres periodos bien marcados:

Un primer periodo o fase Kuelap, en el que construyen una fortaleza de dimensiones colosales, en la cima de un cerro de 3 200 m.s.n.m. El edificio está construido con rocas de grandes dimensiones y sus muros, muy altos, albergan los edificios y viviendas, que quedaban a sí protegidos del exterior.

El segundo periodo Chipuric se caracteriza por sus estatuas funerarias, localizadas en barrancos de muy difícil acceso. Son también características las mascararas funerarias procedentes de mausoleos.

Un último periodo Revash que corresponde a la presencia Inca.

Todas sus construcciones son de diseño circular realizadas en piedras de grandes dimensiones, con acceso mediante rampas inclinadas o escaleras. Dejaron un gran número de conjuntos arquitectónicos, pero sin duda “Kuelap”, un monumento con muros de 20 m de altura y casi 600 m de longitud, construido a 3 000 m de altitud es el más grandioso de todos con gran diferencia, figura 29. Entre las muchas construcciones existentes en Kuelap, destacan especialmente: El Tintero, La Atalaya y El Castillo. En lengua nativa Kuelap significa “lugar frio” y efectivamente a pesar de encontrarse en plena selva, su clima es templado y seco durante el día, bajando notablemente la temperatura durante la noche.

Junto con “Kuelap”, el otro lugar arqueológico destacable son los “Sarcófagos de Carajía”, figura 30, absolutamente únicos, ya que los Chachapoyas enterraban a sus muertos en ataúdes cuya forma seguía en contorno de la figura humana.



Fig. 29: Chachapoyas, Kuelap



Fig.30: Chachapoyas, Sarcófagos de Carajía

El sitio arqueológico “El Gran Patajén” localizado al sur del departamento de Amazonas, en su confluencia con los departamentos de Libertad y San Martín, dentro del Parque Nacional del Río Abiseo, declarado Patrimonio de la Humanidad el año 1990, y como Sitio Cultural en 1992, consiste en más de 26 estructuras circulares de piedra ubicadas encima de terrazas y escaleras. Los edificios principales están decorados con mosaicos de pizarra, que muestran aves y figuras geométricas. En varias ocasiones se ha intentado aclarar la vegetación alrededor del sitio, pero ello ha provocado grandes daños en las edificaciones, al quedar estas expuestas a la lluvia por lo que se paralizaron estos trabajos a la espera de poder tomar soluciones que compatibilicen el acceso al lugar con la protección del mismo.

El elemento más característico de esta cultura son las Chulpas o mausoleos en forma de torrecillas, construidos en piedra semicantada. Sus sarcófagos son una evolución del fardo funerario de la cultura Tiahuanaco-Huari.

En la provincia Bongara, departamento de Amazonas se encuentran situadas las cataratas “Yumbilla y “Gocta”, consideradas la tercera y cuarta cataratas más altas del mundo, con 895 m y 771 m de altura, detrás del Salto del Ángel en Venezuela de 979 m y Tugela Falls en Sudáfrica de 948 m.

2.5.2. Sicán o Lambayeque: La cultura Sicán o Lambayeque surge en el 800 a.C. y permanece hasta el 1400 d.C. en que es absorbida por la cultura Chimú.

Comenzaron su desarrollo a partir de la decadencia de la cultura Mochica, siendo muy influidos por la cultura Huari que estaba en plena expansión. Se asentaron en el territorio que hoy ocupa el departamento de Lambayeque.

Su primer centro fue fundado en la ciudad conocida como Batán Grande, que tuvieron que abandonar por causa de un incendio que destruyó completamente la

ciudad, momento en que fundaron la ciudad de Túcume, figura 31. Ambos emplazamientos, especialmente el último, constituyen hoy los más importantes sitios arqueológicos de esta cultura.

También se estima que la Huaca del Dragón, también llamada Huaca del Arco Iris, ubicada al norte de Trujillo, cerca de la ciudad de Chan-Chan, pertenece a esta cultura, aunque hasta hace poco tiempo se la relacionaba con la cultura Chimú. Es una pirámide de doble plataforma, que principalmente debió servir para almacenamiento de alimentos. Los muros están decorados con altorrelieves, en los que aparece una figura con forma de Arco Iris, y otras con forma de Dragón.

La cultura Sicán, sin duda, fue la mayor productora de orfebrería del antiguo Perú. En la mayoría de sus trabajos aparece representado su semidiós Naylamp, figura 32. Dominaron la metalurgia, desde la extracción del metal, a su fusión y transformación, utilizando principalmente la técnica del repujado, empleando moldes de madera, lo cual les permitió elaborar una cantidad ingente de piezas, tanto de uso diario como ceremoniales y mascarar funerarias, empleando relativamente muy poco material.

También destacaron en la cerámica, desarrollando técnicas de moldeo, para mejorar la producción. Emplearon profusamente el color negro, logrado mediante la cocción de las piezas en hornos cerrados para terminar ahumándolas.

Es característico de esta cultura tanto en orfebrería como en cerámica y textiles, la representación de figuras humanas con ojos exageradamente oblicuos, "ojos alados".

Durante la época de su mayor apogeo llegaron a extenderse por toda la costa peruana, y en base a los restos encontrados se ha determinado que mantuvieron un intercambio comercial con otros países. Concretamente con Ecuador lo demuestra el que en sus restos se han encontrado gran cantidad de conchas Spóndilus que solo existen en la costa ecuatoriana. Igualmente comerciaron con Colombia pues se han encontrado esmeraldas y ámbar, y también con pueblos de Chile ya que También se han encontrado piedras de lapislázuli.



Fig. 31: Sicán, Pirámides de Túcume



Fig.32: Sicán, Tumi Naylamp

Su dios Naylamp según la mitología es un personaje que arribó por el mar en balsas con un gran séquito, portando en sus manos un ídolo de piedra verde, llamado “Yampallec”, de donde viene el nombre de Lambayeque. Fundó la cultura Sicán, y con él se dio comienzo a una larga dinastía de gobernantes que trajeron paz y prosperidad. El último de ellos, “Fempellec”, contravino preceptos y fue castigado con prolongadas y devastadoras tempestades, que podrían estar relacionadas con algunos de los desastres provocados por la corriente de El Niño. Tras estos desastres sobrevendría la conquista de su cultura por los Chimúes.

2.5.3. Ica-Chincha: Esta cultura surge en la costa central del Perú, extendiéndose por los valles de Chincha, Pisco, Ica y Nazca, del 1 100 d.C. hasta el 1 440 d.C.

La cultura o reino Chincha sobresale a la caída del Imperio Huari, y se desarrolló en los lugares que anteriormente ocuparon las culturas Paracas y Nazca. Fue un señorío gobernado por un Chinchay Cápac conquistado por los Incas durante el periodo de Túpac Inca Yupanqui, pero que mantuvo su importancia incluso bajo su dominación. Algunos investigadores piensan que fue el origen del “Ruma Simi”, lengua adoptada y difundida por los quechuas.

Desarrollaron una arquitectura basada en adobes y utilizaron la técnica del tapial. Sus principales edificaciones se encuentran en el valle de Chincha: Tambo de Mora que parece fue su centro administrativo principal, Lurín Chincha, San Pedro, y cerca de ésta última el edificio conocido como La Centinela de gran dimensión.

Desarrollaron una gran actividad comercial, trayendo conchas *Spóndylus* desde Ecuador, esmeraldas de Colombia, llegaron hasta Valdivia en Chile. Al mismo tiempo hacían intercambio con los pueblos de los Andes centrales, especialmente con el Cuzco.

2.5.4. **Ychsma:** A la orilla del Rímac y hacia el sur de Lima, llegando hasta el río Mala, en lugares que ocupara la cultura Lima, surge la cultura Ychsma o Ichmay del 1 100 d.C. hasta el 1 450 d.C. No hay unanimidad en considerarla como una cultura, pero debido que dejó vestigios característicos, como las Pirámides con Rampa en el santuario de Pachacamac, es así reconocida por bastantes arqueólogos e investigadores.

Además de las pirámides, en la zona hoy ocupada por Chorrillos, Barranco, Surco, Surquillo, y parte de Miraflores, se encuentra la ciudad de Armatambo-Morro Solar, considerada un curacazgo administrado bajo la supremacía de la ciudad-santuario de Pachacamac, en la que sobresalen las pirámides con rampa de Marcavilca y la Huaca San Pedro, y las Huacas Díaz, Cruz de Armatambo y Huaca Los Laureles.

La cultura Ychsma empleaba preferentemente la técnica constructiva del tapial sobre la del adobe, y esto es una de las características que mejor permite diferencia las construcciones de las otras culturas Lima e Inca que construyeron en la zona del sur de Lima, especialmente en Pachacamac.

2.5.5. **Chancay:** Surge ésta cultura del 1 200 d.C. hasta el 1 470 d.C., en los valles de Chancay, Chillón, Rímac y Lurín, ocupando lo que hoy es la ciudad de Lima, y estableciendo su centro al norte de la ciudad, en las cercanías del río Chancay. Su surgimiento tiene lugar durante la decadencia del imperio Huari.

Fue un pueblo pescador por excelencia, y basaron su economía en la agricultura y el comercio, comerciando con los pueblos de la costa norte y sur. En su cerámica representaban peces y diseños geométricos y fue muy difundida por todo el país debido a que empleaban una técnica en base a moldes con la que pudieron producir a gran escala. En la producción textil destacan sus trabajos de encajes bordados con aguja, en los que empleaban algodón, lana, gasa y plumas. Igualmente elaboraban paños pintados a mano con dibujos de libre imaginación.

Sus asentamientos principales fueron Lauri, Tambo Blanco, Pasamano, Pisquillo Chico y Tronconal

2.5.6. **Huancas:** En los Andes centrales, tras la decadencia Huari, surge esta cultura en los valles de Jauja, Huancayo y Concepción, entre los años del 1 200 d.C. hasta el 1 460 d.C.

A la llegada de los españoles se convirtieron en sus principales aliados en su lucha contra el Tahuantinsuyo.

2.5.7. **Chanca:** Esta importantísima cultura fue contemporánea con los Incas, surgiendo el 1 250 d.C. y permaneciendo hasta el 1 440 d.C. que son dominados por ellos.

El pueblo Chanca fue eminentemente guerrero y permaneció en lucha permanente con el Imperio Inca, y pudieron haber cambiado el curso de la historia si finalmente no hubiesen sido absorbidos.

Ocuparon los Andes Centrales desde Ayacucho hasta la margen izquierda del río Apurímac, incluyendo toda la cuenca del río Pampas.

Chancas y Cuzqueños lucharon por mantener la supremacía en la región. Su enfrentamiento dio lugar a una serie larga de batallas que finalmente se tronaron favorables a los Cuzqueños, los cuales finalmente se impondrían. Esta lucha por el poder causó un gran retraso en la expansión del imperio incaico. De hecho cuando Pachacutec Yupanqui, noveno rey del Cuzco, alcanza la victoria sobre los Chancas, se considera que da comienzo el Imperio Inca, y a partir de ese momento Pachacutec se considera el primer y más grande emperador del Tawantinsuyo. Posteriormente sería el artífice de la dominación de los Chimúes.

2.5.8. Chimú: La cultura Chimú se asentó en el mismo territorio en que siglos antes existió la cultura Mochica del 1 100 d.C. hasta el 1 440 d.C.

Se expandieron solamente por la costa, hacía el norte hasta Tumbes, en lo que hoy es la frontera con Ecuador, y por el sur hasta el valle de Huarney, departamento Ancash, justamente en la frontera con el departamento Lima. Por el este no pudieron expandirse por la región de la sierra, siendo la cordillera su límite.

Destacaron en el plano urbanístico y su mejor ejemplo es la ciudad Chan-Chan, su núcleo principal, la mayor ciudad de barro de América, al norte muy cerca de Trujillo, y la segunda del mundo. Otros ejemplos notables de sus construcciones son la Muralla Chimú y la fortaleza de Paramonga. Son considerados los mejores arquitectos de todas las culturas pre-incaicas. También destacaron en orfebrería, empleando distintos metales y técnicas de elaboración, e igualmente se consideran los mejores orfebres de las culturas que precedieron a los incas.

Hasta ser dominados por los incas se comunicaban con un lenguaje propio llamado “quingnam”, posiblemente procedente de la cultura mochica, y también el “muchic” la lengua de los Mochicas. Posteriormente adoptaron el quechua, pero se siguió hablando el muchic como registraron los cronistas españoles.

La ciudad de Chan-Chan, del quingnam sol-sol cuyo significado sería “Gran Sol” o “Sol Resplandeciente”, fue la capital del reino Chimor, figura 33. Es una metrópoli construida con adobe, de enormes dimensiones que pudo estar habitada por 100 000 personas. El Inca Túpac Yupanqui tomó la ciudad sitiándola en el año 1470, en cuyo momento destruyó los acueductos que suministraban agua a la ciudad. Posteriormente ante una rebelión de los chimúes, el Inca Huayna Cápac la saqueó y quemó parcialmente.



Fig. 33: Chan-Chan, detalle de la ciudad



Fig.34: Chan-Chan, detalle frisos grabados

Sobre un área de 14 km² se dispersan plazas, templos piramidales, palacios, depósitos, talleres, y todo tipo de construcciones, incluyendo cementerios en los alrededores. Los muros están decorados con relieves de figuras geométricas, zoomorfas y seres mitológicos. Un vasto sistema de acueductos y acequias subterráneas traía el agua a la ciudad desde enormes distancias, figura 34.

Fue declarada Patrimonio de la Humanidad en 1986 e incluida en la lista del Patrimonio de la Humanidad en peligro.

La cerámica se elaboraba mediante la técnica de moldes, por lo que produjeron en gran escala. Se caracteriza por ser monocroma, generalmente de color negro, con un brillo metálico, obtenido humeando la vasija después de pulida.

Trabajaron los metales con multitud de técnicas: dorado, enchapado, vaciado a la cera perdida, perlado, repujado sobre moldes de madera, elaborando una gran cantidad de objetos. Desarrollaron la metalurgia en su total extensión, desde la explotación de los minerales hasta su molienda y fusión, y produjeron aleaciones con el empleo de ácidos naturales. Los metales más empleados fueron el cobre, el estaño, la plata y el oro.

Fueron grandes pescadores y expertos navegantes, haciendo largas travesías para aprovisionarse de productos exóticos como el Spóndilus desde Ecuador y guano como fertilizante desde las islas cercanas. La agricultura fue la base de la economía Chimú, y para ello desarrollaron una extensa red de canales para abastecerse de agua, aprovechando también las aguas del subsuelo habilitando campos agrícolas hundidos, lo que les permitió obtener varias cosechas al año.

Su pieza más representativa fue el Túmi, cuchillo ceremonial de oro de un metro de longitud y treinta centímetros de anchura, que usaban en las ceremonias sagradas donde hacían sacrificios a sus dioses.

Los principales dioses adorados por los Chimúes, fueron el Sol y la Luna, principalmente ésta última, como en la mayoría de los pueblos de la costa, ya que

consideraban era más poderosa que el Sol porque alumbraba por la noche e influía en las mareas y en el clima.

2.5.9. Inca: Ateniéndonos a la fundación de Cuzco como el comienzo de la dinastía Inca, puede establecerse que la cultura Inca surge sobre el 1 200 d.C., permaneciendo hasta la llegada de los españoles y su dominación en el 1 533 d.C.

Antes de la aparición y expansión del Imperio Inca existían en el área del Cuzco diversos grupos que formaban una confederación local, en la que la ciudad cumplía un papel unificador vinculado al culto al dios Wiracocha. De dicha confederación surgió el estamento inca que habría de ser la semilla de unos de los mayores imperios de la humanidad, el imperio de los Cuatro Suyos o Tawantinsuyo, en el que Cuzco sería el “ombligo del mundo” para el Incario.

Existen varias leyendas sobre el origen de los Incas, sobresaliendo dos:

- La primera que cuenta como la pareja fundadora, Manco Cápac y Mama Ocllo, emergieron de las aguas del lago Titicaca por encargo del Inti (dios Sol) para que fundasen un nuevo reino desde el que civilizar a los hombres. La pareja llevaba un bastón de oro que debían tratar de introducir en la tierra de los lugares adecuados que fuesen encontrando en su viaje hacia el norte. El lugar donde la barra de oros se hundiese, sería el lugar elegido para fundar la ciudad, que sería el Cuzco, “el ombligo o centro del mundo”. Manco Cápac se encargaría de enseñar a los hombres a cultivar y a organizarse, y Mama Ocllo enseñaría a las mujeres a tejer y a realizar las tareas del hogar.

- Una segunda leyenda cuenta que aparecieron en Tampu Toco cuatro hermanos y sus cuatro mujeres, a saber: Ayar Cachi y Mama Huaco, Ayar Hucho y Mama Cura, Ayar Auca y Mama Rahua y Ayar Manco y Mama Ocllo. En un proceso de eliminación por diferentes causas solo sobrevivió la última pareja, Ayar Manco y Mama Ocllo, que fundaron el Cuzco y procedieron a cumplir con la labor que les había encomendado el Inti.

En un primer periodo se estableció, en el Hurin Cuzco (Bajo Cuzco), la primera dinastía formada por los primeros cinco reyes: Manco Cápac, Sinchi Roca, Lloque Yupanqui, Mayta Cápac y Cápac Yupanqui.

La segunda dinastía se traslada al Hanan Cuzco (Alto Cuzco), y está constituida por otros cuatro Incas: Inca Roca, Yahuar Huaca Inca, Wiracocha Inca y Pachacutec Inca Yupanqui.

La palabra Inca (Inqa en quechua) denomina a los gobernantes del imperio Inca, aunque también eran empleados los términos Cápac Inca (Qapac Inqa, Poderoso Inca) y Sapa Inca (Sapa Inqa, Único Inca). El primer gobernante en usar el término Inca fue Inca Roca, fundador de la segunda dinastía Hanan Cuzco.

Durante la segunda dinastía tienen lugar las batallas constantes por el poder contra la cultura Chanca, hasta que Pachacutec los derrota y da comienzo la fase de expansión territorial, considerada la fase Imperial, siendo Pachacutec el noveno Inca y el primer Emperador.

Con el gobierno de Pachacutec se produce el mayor crecimiento del Imperio, llegando hasta Ecuador por el norte, por el sur sometiendo a los Collas, y por la costa, conquistando la cultura Lima y su dios Pachacamac, que a partir de ese momento toma como dios propio, con tanta importancia como el Inti, ya que se consideraba a este dios como el dios creador Wiracocha. En Pachacamac construyen importantes edificaciones, la casa de las Acllawasi (Mamaconas), el palacio de Tauri Chumbi, y El Templo del Sol

Su hijo Túpac Yupanqui, ya durante el reinado de su padre había participado y dirigido varias batallas y era considerado un destacado militar. Al asumir el trono amplió las fronteras hacia el sur, llegando hasta Talca en Chile. En sus viajes hacía el sur también amplió sus territorios por el lado Argentino llegando hasta las cercanías de Mendoza, por supuesto pasando por Jujuy, Salta y Tucumán. Hacia el norte conquista el reino Chimú en la costa, sometiendo a todas las otras culturas que encuentra en su viaje hasta Trujillo. Continúa hacia el norte por el interior y conquista la cultura Chachapoyas, que después de una rebelión sería de nuevo dominada por su hijo Huayna Cápac, y sigue hasta Quito en Ecuador.

Huayna Cápac es considerado el último gran emperador. Continuando la labor de su padre termina de conquistar Ecuador, anexionando el golfo de Guayaquil, Esmeraldas y llegando hasta el río Ancasmayo en las cercanías de Pasto, Colombia. Estando en Quito enfermó y murió en 1525.

Con su muerte comienza la decadencia del Imperio, pues se crea una crisis de sucesión que en cierto modo fue la causa de que los españoles pudiesen conquistar con relativa facilidad un Imperio tan grande. El hijo que Huayna Cápac tuvo con la Coya Mama Cussi Rimay (reina descendiente de la familia imperial) falleció y tuvo que nombrar como sucesor a un hijo suyo con una Palla (princesa real del Cuzco), Huáscar.

Antes de su muerte Huayna Cápac expresó su última voluntad, estableciendo que Atahualpa fuese nombrado Señor de Quito y la región norte que comprendía el territorio que hoy es Ecuador. A su hijo Huáscar pidió se le reconociese como Inca de la región sur, desde Tumbes hasta el río Maule en Chile.

Después de un periodo de paz, Huáscar no estuvo de acuerdo con el testamento de Huayna Cápac y se enfrentó a su hermanastro Atahualpa hijo de Huayna Cápac con una Ñusta (princesa extranjera) de Quito, quien también se consideraba legitimado para asumir el poder.

Las tropas de Atahualpa vencen a las de Huáscar en la batalla de Cotabamba en Apurímac, y al enterarse Atahualpa decide viajar a Cuzco para coronarse Inca. En este viaje realiza una parada en Cajamarca donde se encuentra con Pizarro. La debilidad creada por la división del poder entre Atahualpa y Huáscar fue aprovechada hábilmente por Pizarro para conseguir como aliados a pueblos que habían sido dominados por los Incas, y así conquistar con relativa facilidad el vasto Imperio Inca.

Consiguientemente el último Inca, después de Huáscar, fue Atahualpa, aunque muchos no lo consideran así ya que no pudo ser confirmado como tal en Cuzco.

Los Incas posteriores a la conquista por los españoles, descendientes también de la dinastía, como Manco Inca y Túpac Amaru no son considerados oficialmente. Tras la llegada de los españoles y el apresamiento y muerte de Atahualpa, Pizarro decidió instaurar un Inca de conveniencia para facilitar el control del imperio, nombrando a Túpac Hualpa Inca que solo vivió dos meses, siendo reemplazado por Manco Inca quien fue coronado por los españoles.

Posteriormente Manco Inca se rebeló y abandonó el Cuzco para instalarse en Ollantaytambo y posterior y definitivamente en Vilcabamba., y los españoles volvieron a nombrar a Paullu Inca. Éste último Inca gobernó en paralelo con Manco Inca quien desde Vilcabamba creó un segundo gobierno, conocido como los Incas de Vilcabamba. A Manco Inca le sucedieron, Sayri Túpac Inca, Titu Cusi Yupanqui Inca y Túpac Amaru Inca. Este último es apresado por los españoles y finalmente ejecutado en 1572 en la plaza mayor de Cuzco, momento en que se da por finalizada definitivamente la dinastía Inca.

Sería imposible enumerar todo el legado que dejó el Imperio Inca, ni tan siquiera sus principales construcciones, ya que fueron tantas que se requeriría un tiempo y un espacio fuera del alcance de este artículo. Así pues nos conformaremos con mencionar de modo genérico sus principales realizaciones:

- Ciudades y Construcciones Sagradas: Cuando nos referimos a las ciudades sagradas, obligatoriamente todo lleva a Machu Pichu, la ciudad descubierta por el profesor Hiram Bingham en 1911. En 1920 el extraordinario fotógrafo peruano Martín Chambi visitó la ciudad y tomó unas interesantísimas fotografías, que hoy nos permiten ver el estado de esta ciudad al momento de su descubrimiento, figura 35. Se han establecido muchas hipótesis acerca de su finalidad, del porqué de su emplazamiento, etc. Al parecer la más lógica, en base a que la mayoría de los restos humanos encontrados son de mujeres, es que fue una ciudad donde vivían mujeres que consagraron su vida al dios Inti, “acllawasi” en quechua.

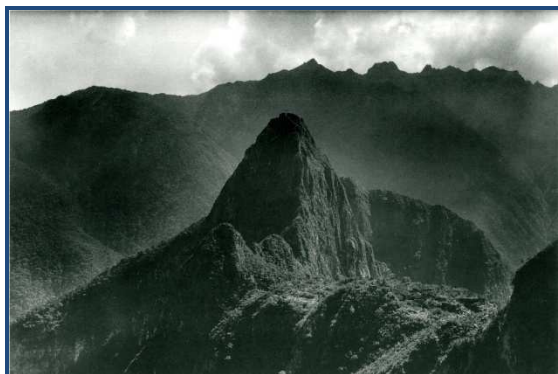


Fig. 35: Machu Pichu, foto Martin Chambi 1920



Fig. 36: Machu Pichu, vista desde una meseta superior

Lo más grandioso e impactante de ésta ciudad no son sus edificaciones, a pesar de su importancia, calidad de sus acabados y significado, sino el mágico entorno de la península donde está enclavada la ciudad, con el río Urubamba circundándola. Desde una cima cercana puede apreciarse una vista aérea de la ciudad que permite hacerse una mejor idea de su grandeza, figura 36.

Túpac Yupanqui al conquistar la cultura Lima, mando construir el Templo del Sol en Pachacamac. Por supuesto hay una ingente cantidad de ciudades sagradas, muchas descubiertas y muchas otras que todavía no han sido localizadas.

- Ciudades Civiles: De nuevo al hablar de ciudades la primera de ellas es Cuzco, “el ombligo del mundo”, centro del Imperio Incaico. Los Incas desarrollaron una técnica tan avanzada para tallar las enormes piedras con que construían sus edificaciones importantes que hasta hoy no ha podido ser igualada. La unión entre las diferentes piedras es perfecta y no precisaban de ningún tipo de argamasa para fijar sus uniones.

Conocían perfectamente cómo construir edificaciones antisísmicas, y de hecho muchos de los edificios levantados por los españoles se levantaron aprovechando los muros incas como fundación. La iglesia de Santo Domingo en el Cuzco fue edificada sobre los muros del más importante del Cuzco, el templo Koricanha, el lugar del Sol. En la ciudad de Cuzco se conservan un gran número de muros incas, figura 37, y en algunos de estos muros pueden encontrarse piedras maestras de muchas caras, difíciles de encajar, que actuaban a modo de “llaves” que fijaban todas las demás, algunas de ellas poseen hasta 12 ángulos, figura 38.

IBEROAMERICANAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
L I M A - P E R U - 2 0 1 0

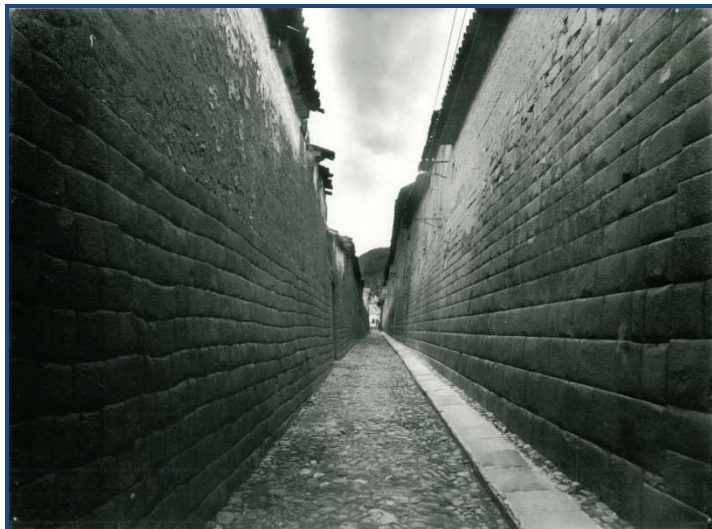


Fig. 37: Cuzco, calle Hatum Rumiyoq



Fig. 38: Cuzco, Piedra de los 12 ángulos

En la mayoría de las ciudades importantes del Perú, capitales de los diferentes departamentos pueden encontrarse restos de las ciudades incas con construcciones similares a las que pueden verse en el Cuzco.

Un asentamiento Inca importante es el Tambo Colorado, ubicado en la margen derecha del río Pisco, departamento de Ica. También es conocido como Pucallacta o Pucahuasi (puca=rojo en quechua). Es uno de los sitios arqueológicos mejor conservado del Perú, a pesar de que está construido con adobes y tapial. Era uno de los centros Incas más importantes de la costa.

- Las fortalezas: La fortaleza más conocida es la existente en las cercanías de Cuzco, conocida como Sacsayhuaman, figura 39, que se construyó para defender la ciudad de los continuos ataques de los Chancas, aunque también cumple un objetivo ceremonial.

Se encuentra localizada sobre una colina cercana a Cuzco, a una altitud de 3 700 m, desde donde se puede apreciar toda la ciudad perfectamente. Es una construcción megalítica, construida con piedras ciclópeas, alguna de las cuales se ha estimado que puede pesar más de 140 t, lo que crea el interrogante de cómo fueron capaces los Incas de transportar piedras de ese tamaño desde las canteras hasta el lugar de emplazamiento, todavía sin una clara explicación hasta el momento.

Tiene la forma de un puma acostado y ocupa una superficie de 3 093 hectáreas lo que permite hacerse una idea de su enorme magnitud. Su contorno está delimitado por una sucesión de tres muros de piedra. Fue comenzada a construir por Pachacutec, pero no se concluyó hasta el gobierno de Huayna Cápac.



Fig. 39: Sacsayhuaman



Fig. 40: Pachacamac, Templo del Sol

Hay un gran número de fortalezas incas a lo largo del Antiguo Perú, muchas de ellas pueden ser consideradas ciudades-fortaleza como la de Ollantaytambo. También construyeron templos fortaleza, como el caso de Sacsayhuaman o el Templo del Sol en Pachacamac, figura 40.

- Los caminos del Inca: Los incas construyeron una red de caminos que integraban todo el Imperio a lo largo y a lo ancho, y todos convergían en la ciudad de Cuzco. Se crearon cuatro caminos principales: De Cuzco a Quito (Ecuador), de Cuzco a Nazca y Tumbes, Cuzco a Chuquibambilla (Bolivia), y de Cuzco a Arica (Chile), con ramales hasta el río Maule (Chile) y a Tucumán (Argentina), figura 41.

El camino más importante era el Cápac Ñan o Camino Real que tenía una longitud de 5 200 km e iba desde Quito a Tucumán pasando por Cuzco, atravesando alturas de hasta 5 000 m. El camino de la costa tenía una longitud de 4 000 km, y transcurría paralelo a la costa, con numerosos ramales en dirección este que se unían con el Camino Real. El ancho máximo de los caminos era de unos 4 m. En ocasiones el camino transcurre por zonas muy escarpadas y fue necesario excavar los caminos en la propia roca y construir a modo de viaductos, figura 43. Todos los caminos del incario disponían cada cierto tramo de un lugar de descanso, donde además se almacenaban alimentos, que eran usados por el ejército en sus desplazamientos, figura 42.

Para poder cruzar los caudalosos ríos existentes en el Perú, construyeron una gran cantidad de puentes, algunos de los cuales pueden ser considerados como verdaderas joyas de la ingeniería, como el puente Qeswachaca (Qeswa=Quechua y Chaca=Puentes) sobre el río Apurímac. Este puente, colgante, está construido en cuerdas elaboradas con un paja, Ichu, que se debe reponer cada cierto tiempo para evitar su rotura por putrefacción de las fibras. El puente tiene 28 m de longitud y 1.2 m de anchura, figura 43.

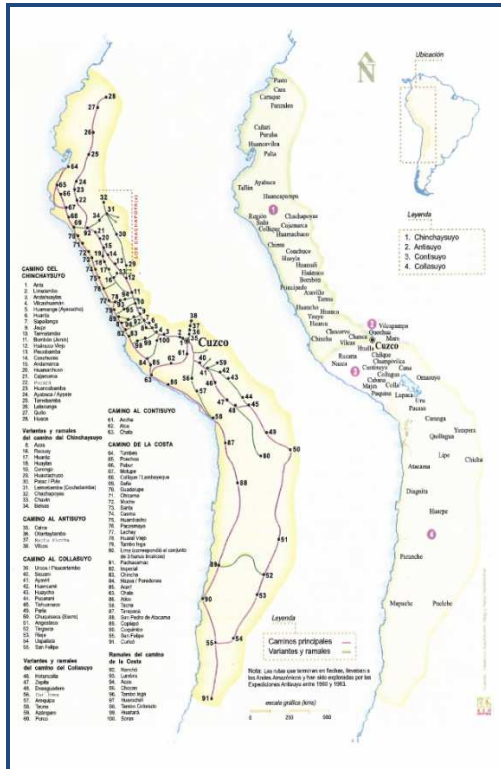


Fig. 41: Red de Caminos del Inca



Fig. 42: Camino del Inca, a Machu Pichu

Esta red de caminos permitió el desarrollo de un sistema de comunicaciones eficaz, a cargo de mensajeros llamados Chasquis que utilizando los tambos como postas iban transmitiendo los mensajes a otros mensajeros de relevo que permanecían en los Tambos. Una noticia podía llegar de Cuzco a Quito, unos 2 000 km de distancia en tan solo unos 10 días.

La red de caminos servía igualmente para el transporte de mercancías, y por ejemplo un pescado podía llegar desde la costa a Cuzco en un día.



Fig.43: Puente Qeswachaca, colgante sobre el Apurímac



Fig. 44: Agricultura en andenes, Pisac

- **Desarrollos agrícolas:** La agricultura tuvo un tremendo auge durante el Imperio Inca, ya que el propio emperador se ocupaba de controlar la producción agrícola de cada lugar, estableciendo cupos que debían cumplirse. En cada población había un responsable de alcanzar la producción establecida, y cada cierto tiempo el Inca enviaba inspectores para comprobar si se estaba cumpliendo el programa establecido. La producción de cada lugar se repartía entre la población del lugar y una parte que era recogida por el gobierno para ir a llenar los almacenes centrales, que actuaban así como centro de control de la producción de todo el Imperio, al mismo tiempo que se creaba una reserva para periodos de escasez, bien fuese por problemas climáticos, épocas de guerra, etc.

Para incrementar la producción y poder abastecer a la totalidad del Imperio en el que aumentaba rápidamente el número de habitantes como resultado de la rápida expansión, los incas desarrollaron la agricultura en andenes, figura 44, para aumentar la superficie útil cultivable, incrementando de este modo la productividad de las tierras. Estos andenes también servían para poder diferenciar los tipos de cultivo, de forma que en cada andén se cultivaba una especie distinta. Igualmente los andenes cumplían una labor ecológica, pues protegían las laderas de la erosión creada por las lluvias.

Igualmente desarrollaron una red importantísima de canales de irrigación para recoger agua de los ríos y conducirla a depósitos donde la almacenaban. Multitud de canales construidos en las regiones de la sierra fueron excavadas directamente en la roca, lo que supone un trabajo enorme, especialmente teniendo en cuenta que no disponían de utensilios adecuados para tallar la roca.

- **Observatorios y Calendarios Astronómicos:** Los conocimientos de astronomía de los Incas eran muy elevados y de ello dan prueba el gran número de observatorios astronómicos que construyeron en todo el territorio del Imperio. Además de los observatorios la mayoría de sus ciudades y edificaciones estaban orientadas de acuerdo a principios establecidos en base a su funcionalidad, lo que les permitía tener un conocimiento perfecto de las diferentes estaciones, necesario para su actividad agrícola.

La fecha de mayor importancia para los Incas fue la del Solsticio de Invierno (en el hemisferio sur), el 21 de junio. En esa fecha su dios, Inti, estaba en el punto más alejado de ellos, y justamente ese día, el Sol emprendía el camino de regreso a su casa. Ese día, la festividad del Inti Raymi, era un día sagrado para los Incas, y en todo el Incario se realizaban celebraciones especiales en honor del Inti.

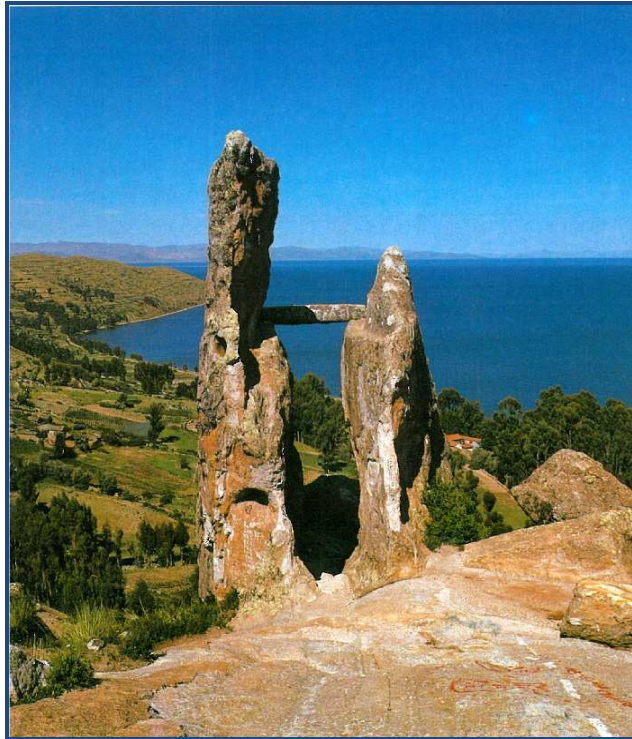


Fig. 45: La Horca del Inca

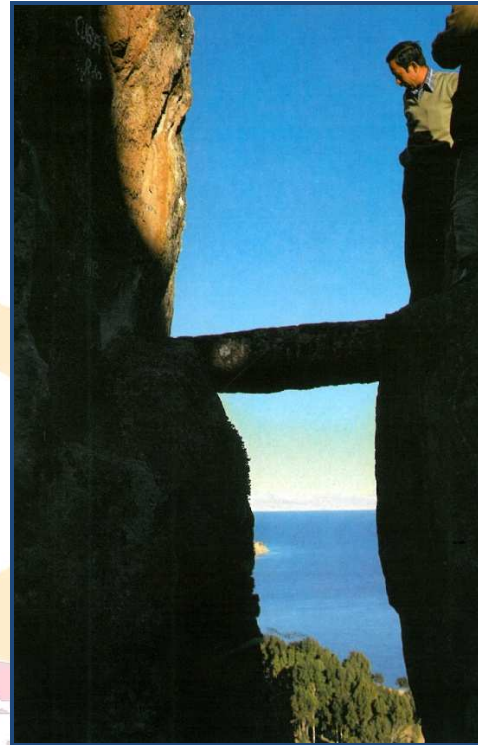


Fig. 46: Solsticio de invierno sobre la Horca

En el Cuzco, el templo Koricancha estaba orientado con total exactitud para que los rayos del Sol entrasen en su interior, que estaba totalmente forrado de oro, de modo que sus rayos fuesen reflejados en todas direcciones, creándose una explosión de rayos.

La mayoría de las ciudades incas disponían de algún edificio donde podían seguirse las trayectorias de los diferentes planetas y estrellas para establecer con precisión los ciclos principales. Obviamente el movimiento del Sol, especialmente equinoccios y solsticios, se podían señalar con exactitud. En la ciudad sagrada de Machu Pichu el edificio conocido como Inti Huatana cumplía las funciones de observatorio.

Hacia el sur de Copacabana, Bolivia, a orillas del lago Titicaca, sobre el cerro Sirocani, se encuentra situado el monumento conocido como "La Horca del Inca". Este monumento semiartificial consta de dos rocas paralelas de gran tamaño en posición vertical, uniendo las cuales transversalmente existe otra roca plana en posición horizontal, figura 45, que está colocada en unos rebajes creados en las columnas verticales para soporte de la losa horizontal. Frente a estas rocas, a unos 21 m de distancia, existe una pared de roca también labrada artificialmente, que presenta un orificio de unos 10-12 cm de diámetro.

El día 21 de junio, solsticio de invierno, al salir el sol, sus rayos atraviesan el orificio sobre la pared e inciden precisamente sobre el travesaño horizontal de la Horca del Inca, figura 46. Existe otra columna rocosa situada a 39 m del monumento central

que proyecta su sombra sobre el travesaño horizontal justamente en los equinoccios de otoño y primavera.

2.6. EPOCA COLONIAL

La historia nos ha enseñado como cuando una cultura es dominada por otra, ésta última en primer lugar trata de hacer desaparecer todos aquellos signos de la cultura dominada que identifiquen y representen su identidad, especialmente los relacionados con su religión, que en general es lo que más representa su unión.

El comportamiento de los españoles no fue distinto y así lo primero que eliminaron fue las edificaciones de carácter sagrado, pues además el objetivo fundamental de la conquista, no debe olvidarse, fue llevar la religión católica a los nuevos territorios descubiertos, independientemente de que los representantes de la corona cumpliesen fielmente aquel principio, y los argumentos y medios que empleasen para conseguirlo.

No conviene olvidar que la dominación Inca de todas las culturas existentes en el Perú, contemporáneas con ellos, se realizaron siguiendo el mismo principio, y quizás empleando medidas mucho más extremas que las empleadas por los españoles, como por ejemplo el desplazamiento de las poblaciones que conquistaban a otros lugares distintos, reemplazando a sus habitantes por otros de diferentes lugares, para evitar levantamientos posteriores a su conquista, de modo que pudiesen seguir avanzando en su expansión. Esta táctica fue idéntica a la empleada muchos siglos antes en Europa por el emperador Alejandro Magno en sus viajes de conquista hasta la India.

Los templos y lugares sagrados de los Incas fueron reemplazados por Catedrales e Iglesias edificadas en honor a Cristo, y hoy cuentan el Perú y Ecuador principalmente con unos maravillosos edificios que en muchos casos han sido declarados Patrimonio de la Humanidad. La catedral de Lima y su edificio anexo, es uno de los edificios más representativos de la época de la colonia, figura 47. El centro histórico de Quito posee el conjunto de iglesias más bellos de toda Iberoamérica, entre los que destacarían la iglesia de San Francisco, figura 48, y la de la Compañía de Jesús.

No pueden olvidarse las espectaculares misiones Jesuíticas que dejó el paso de la colonia en territorios de la selva Boliviana y Paraguay, hermosas edificaciones realizadas empleando los materiales existentes en la zona, que no tienen parangón en el mundo, figura 49.



Fig. 47: Palacio Arzobispal de Lima



Fig. 48: Iglesia y Plaza de San Francisco, Quito

Se conservan igualmente multitud de edificaciones civiles de enorme belleza en todos los territorios del Antiguo Perú, especialmente en lo que hoy es Bolivia, Ecuador y Perú. Los palacios y residencias de los gobernadores por su arquitectura y calidad de ejecución representan un patrimonio valiosísimo para estos países, al mismo tiempo que son una muestra palpable de su historia. Las edificaciones levantadas por los españoles como residencias en las antiguas haciendas de café, caña de azúcar, y otros usos, son otro ejemplo admirable de una arquitectura magnífica, que hoy día se trata de recuperar para incorporarlas al patrimonio del país, figura 50.



Fig. 49: Misión Jesuítica de San Miguel



Fig. 50: Pueblo de Chincheros, antigua hacienda

3. HISTORIA O CIENCIA FICCIÓN

Cuando caminamos, aunque sea de puntillas, por el sendero que supone la historia del cualquier país, tal y como hemos hecho en éste vuela pluma sobre las culturas del antiguo Perú, vamos encontrando a cada paso multitud de interrogantes y puntos oscuros de la historia, unos que ya resolvió el estudio de los expertos y otros aun sin resolver, pero sobre los que se está investigando y se espera aclaración en un futuro. Muchos otros pareciera que no tienen solución o no la tendrán, a menos que se abra alguna puerta que permita ver una realidad oculta a nuestros ojos, o que podamos elevarnos a un nivel superior desde donde ver nuestro mundo en otra dimensión distinta, más amplia, de la que ahora disfrutamos.

Ciertamente nuestra historia está llena de enigmas, pero en la historia concreta del Perú, los agujeros negros son tantos y tan grandes que con frecuencia debemos ir dando saltos en el vacío corriendo el peligro de caer en las redes de la ciencia ficción, peligroso enemigo de la historia que trata de llenar los vacíos con suposiciones extravagantes casi siempre relacionadas con el mundo de los extraterrestres.

Dejaré planteados solamente media docena de enigmas para meditar:

3.1. Caral: El descubrimiento reciente de las ruinas de Caral, del año 3 000 a.C., ha cambiado la historia de América, resultando que la civilización más avanzada en este continente se encontraba en Perú. Fue contemporánea con Egipto, Mesopotamia, India y China, pero Caral se construyó unos 500 años antes que las famosas pirámides. En cualquier caso estas culturas construyeron ciudades cuyas principales edificaciones fueron pirámides. En vestigios encontrados en momias egipcias aparecieron hojas de coca. En Bolivia se han encontrado objetos con escritura cuneiforme como la de los sumerios ¿Hubo conexión entre éstas culturas o es simplemente una coincidencia?

3.2. Wiracocha: Casi todas las culturas en el Perú y en muchos otros países tienen sus orígenes en un personaje-deidad de tez blanca, con el objetivo de permanecer con ellos el tiempo suficiente para enseñarles a cultivar, a cosechar, a curar las enfermedades, sobre todo a vivir en paz y en armonía, y que dejó conocimientos elevadísimos. Después se marchó silenciosamente prometiendo que regresaría. Wiracocha, Naylamp, Pachacamac, Quetzalcóatl, Osiris, todos ellos tienen una leyenda similar, ¿Fue un mismo personaje?, ¿Hubo una civilización anterior a las conocidas más desarrollada que la nuestras?

3.3. Atlantes: La historia de las culturas Tiahuanaco e Inca, menciona el comienzo de la vida con una primera población de gigantes que desobedecieron al dios Creador, y por cuyo motivo mandó un diluvio y los exterminó. Aquellos atlantes, representados en los monolitos encontrados en Tiahuanaco, Chavín y otras culturas son los responsables de las numerosas construcciones megalíticas existentes en el Perú. Supuestamente hay una ciudad sumergida en el fondo del lago Titicaca donde vivieron aquellos gigantes. ¿La leyenda de la Atlántida existe en el Perú y en muchas otras culturas? ¿Habría existido realmente una Atlántida, civilización anterior a las nuestras?

3.4. Nazca: La conclusión sobre las Líneas de Nazca, independientemente de las tecnologías que emplearon en su realización, es unánime, fueron realizadas para ser vistas desde el aire. ¿Las construyeron simplemente como un calendario astronómico que además podría ser observado por sus dioses los astros, o suponían que podrían ser observadas por otras culturas? ¿Cómo pudieron adquirir conocimientos para trazar las Líneas?

3.5. Tallado de Piedras: Las construcciones de piedra incas, tienen un nivel de acabado que hoy día no podríamos alcanzar ni empleando las técnicas más

avanzadas a nuestro alcance. Desplazaron rocas de más de cien toneladas desde cientos de kilómetros, ¿Qué tecnologías emplearon?

3.6. La Rueda: Los Incas en Perú y los Mayas en México, con conocimientos avanzadísimos de astronomía, ingeniería, matemáticas, que realizaron obras que aun hoy con nuestros medios seríamos incapaces de ejecutar, ¿verdaderamente no conocieron la Rueda?.

4. BIBLIOGRAFÍA

Perú, Manual de Simbolismo y Arqueología (1989)

El arte del cobre en el mundo andino (2004)

Alva, Walter (2005). Museo Tumbas reales de Sipán

Alva, Walter. Sipán, Descubrimiento e Investigación

Angles V., Victor (1972). Machu Pichu, enigmática ciudad Inka

Barrier, Brians (1996) El desarrollo del estado Inca

Boero Rojo, Hugo (1987). El Imperio del Sol

Carcedo de Mufarech, Paloma (2007). Oro del antiguo Perú

Carrión Cachot, Rebeca (2005). El culto al agua en el antiguo Perú.

Cieza de León, Pedro de. Descubrimiento y conquista del Perú

Cieza de León, Pedro de. El señorío de los Incas

Frost, Peter y Bartle Jim (1995). Santuario Histórico Machu Picchu

Guamán Poma de Ayala. Primer Nueva Crónica y Buen Gobierno

Guijarro, Timoteo y Cardelús, Borja (2009). Cápac Ñan (El gran camino Inca)

Guillén Guillén, Edmundo (2005). Los Incas, el inicio de la guerra de reconquista

Hernández, Max et al. (1996). Entre el mito y la historia

Illescas Cook, Guillermo (1976) Astrónomos en el antiguo Perú

Kauffmann Doig, Federico y Ligabue Giancarlo (2003). Los Chachapoyas

Murcia, Martín de. Historia general del Perú



Narváez Vargas, Alfredo. El museo de sitio Túcume

Ondegardo, Polo de. Tratado y averiguación sobre errores y supersticiones de los indios

Paleari, Antonio (2002). Viracocha el vikingo

Palomino, Enrique (1993). Qosqo, centro del mundo

Pease, Franklin (1995). Las crónicas y los Andes

Porras Barrenechea (1986). Los cronistas del Perú

Regal Matienzo, Alberto (1970). Los trabajos hidráulicos del Inca en el antiguo Perú

Reiche, María (1968). Nazca-Perú, Secreto de la pampa

Reinhard, Johan (1997). Las líneas de Nazca

Rostworowski, María (1977). Costa peruana prehispánica

Rostworowski, María (1977). Pachacutec y la leyenda de los Chancas

Rostworowski, María (1978). Señoríos indígenas de Lima y Canta

Rostworowski, María (1992). Pachacamac y el Señor de los Milagros

Rostworowski, María (1995). Historia del Tawantinsuyu

Shady Solís, Ruth. La ciudad sagrada de Caral-Supe

Vargas Llosa, Mario. Martín Chambi 1920-1950

Vega, Inca Garcilaso de la. Crónicas Reales de los Incas

Vega, Inca Garcilaso de la. Historia general del Perú

Xerez, Francisco de. Verdadera relación de la conquista del Perú

Jornada
IBEROAMERICANA
DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
L I M A - P E R Ú - 2 0 1 0



AUMENTO DE LA RESISTENCIA EN HORMIGÓN CON AGREGADOS DE DISTINTO ORIGEN DE MOLIENDA

María Elizabeth Médici⁽¹⁾, Oscar Armando Benegas⁽¹⁾, Oscar Cosme Nocera⁽¹⁾, Rodolfo Omar Uñac⁽²⁾ y Ana María Vidales⁽²⁾

(1) Departamento de Minería, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis e Instituto de Física Aplicada (CONICET), Chacabuco 917, 5700 San Luis, Argentina. mmedici@unsl.edu.ar, obenegas@unsl.edu.ar, onocera@unsl.edu.ar.

(2) Departamento de Física, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis and Instituto de Física Aplicada (CONICET), Ejército de los Andes 950, 5700 San Luis, Argentina. E-mail: ruiac@unsl.edu.ar, avidales@unsl.edu.ar.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es correlacionar la resistencia del hormigón con el origen de los agregados presentes en su preparación. En primer lugar se realiza una caracterización física básica de los agregados gruesos y finos. El material se caracteriza por su origen, es decir, si su curva de clasificación es el resultado de la degradación natural (áridos naturales) o de un proceso de molienda (agregados triturados). Se miden la densidad aparente, la densidad real, los factores de forma, la compacidad y la dureza y se discuten los resultados obtenidos en función del tamaño y origen de los agregados. A continuación, preparamos varias mezclas con diferentes proporciones de áridos naturales y triturados para ser añadidos a la preparación del hormigón. Se prepararon seis testigos para cada relación y se efectuaron pruebas de compresión uniaxial sobre ellos. Se obtuvo un comportamiento no monótono de la resistencia en función del porcentaje de agregados triturados presentes en el hormigón. Se discute y justifica este comportamiento sobre la base de la caracterización física previa.

ABSTRACT

The aim of this work is to correlate the resistance of concrete with the origin of the aggregates present in its preparation. A basic physical characterization of coarse and fine aggregates is conducted. The material is characterized by its origin, i.e., if its grading curve is the result of natural degradation (natural aggregate) or from a grinding process (crushed aggregates). Apparent and real densities, shape, compacity and hardness are measured and results are discussed as a function of

size and origin. Then, we prepare several mixtures using different ratios of natural and crushed aggregates to be added to concrete. Six cores for each ratio were prepared and uniaxial compression tests were performed over them. We obtain a non monotonic behavior for the resistance as a function of the percentage of crushed aggregates present in concrete. We discuss and justify this behavior on the basis of the previous physical characterization.

Palabras clave: hormigón, agregados triturados, resistencia.

INTRODUCCIÓN

Dentro de las propiedades mecánicas más importantes que caracterizan al hormigón se encuentra la resistencia que posee a la compresión simple. Una gran cantidad de trabajos experimentales se han llevado a cabo para encontrar y estudiar la relación entre la composición del hormigón y sus propiedades de resistencia a la compresión, de Larrard, F. *et al.*, (1997); Hunger, M. *et al.*, (2009); Kılıç *et al.*, (2008). Los factores que afectan a la respuesta de compresión para el hormigón son básicamente: cantidad y el tipo de cemento, relación agua/cemento (W/C), granulometría y tipo de agregados, aditivos químicos, condiciones y tiempo de curado, entre otros. Diferentes cantidades y tipos de agregado grueso, con diferentes formas, texturas, mineralogía y dureza, pueden dar lugar a diferentes respuestas del hormigón a la compresión, de Larrard, F. *et al.* (1997).

Por otra parte, el agregado juega un papel más importante aún cuando hay limitaciones en la relación W/C y se persigue una alta resistencia y un alto rendimiento para el concreto. En este caso, es posible hacer uso de la totalidad del potencial de las partículas de agregado grueso, Wu, K.R. *et al.* (2001).

Entre los factores físicos más importantes de los agregados que afectan la resistencia del hormigón están: la superficie específica de los granos, su dureza o resistencia a la abrasión, los índices de forma como el índice de alargamiento o el de aplastamiento y su curva granulométrica. La relación directa existente entre la dureza y la resistencia a la abrasión de los agregados usados en la producción de hormigones y la consiguiente resistencia a la compresión de dichos hormigones, se discute en el trabajo de Kılıç, A. *et al.* (2008) para el caso de cinco agregados diferentes. Esta relación indirecta permite afirmar la competencia existente entre la dureza del grano y el resto de los parámetros físicos. En este caso, ensayos normalizados como el Índice de Abrasión Los Ángeles, son muy útiles para caracterizar los materiales.

Por otra parte, la medición de la superficie total de los agregados por unidad de masa (superficie específica) dependerá de la forma y el origen de los granos, es decir, si el tamaño de los granos es el resultado de la degradación natural o se obtuvo por trituración, Hunger, M. *et al.* (2009). Podemos calcular la superficie específica por medición directa o por medio de cálculos teóricos. El primer método utiliza el tratamiento de imágenes y requiere de equipos especiales para la captura de las mismas, Kwan, A.K.H. *et al.* (1997) y (Podczek, F. 1999). El segundo método implica la medición experimental de los índices de forma y el cálculo teórico de la superficie específica a partir de las curvas granulométricas, Hunger, M. *et al.* (2009). Además, el efecto de las curvas granulométricas y de los volúmenes relativos de la mezcla han sido estudiado ampliamente por varios autores como Chen, B. *et al.* (2004) y (Felekoglu, B. 2007).

A pesar de todos los estudios mencionados, el interés en la caracterización de los materiales granulares que participan en la fabricación del hormigón no ha disminuido Beshrb, H. *et al.* (2003); Brouwers, H.J.H. *et al.* (2005); Hunger, M. *et al.* (2008a); Hunger, M. *et al.* (2008b); Mechling, J.M. *et al.* (2009); Stroeven, P. *et al.* (2009). Este hecho se debe principalmente a la falta de un modelo teórico que relacione determinados parámetros físicos, como los antes mencionados, con el comportamiento del hormigón bajo compresión. Un enfoque teórico de este tipo permitiría generalizar los resultados que sólo existen en la actualidad para determinados materiales y regiones.

El presente trabajo será dirigido fundamentalmente al estudio de la influencia del tipo de agregados utilizados en la mezcla que conforma el hormigón sobre la base de su origen, es decir, el tamaño de grano puede venir de la degradación natural o bien de la trituración. En particular, usaremos áridos procedentes de canteras próximas a la ciudad capital de San Luis, Argentina. Los agregados que se añadirán al hormigón serán preparados como una mezcla de piedra natural y piedra triturada. Vamos a variar la proporción de material triturado respecto al material natural desde 0 a 100% para estudiar el comportamiento en compresión uniaxial del hormigón preparado con cada relación.

MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN Y MATERIALES.

La curva granulométrica utilizada para los agregados en todos los experimentos se presenta en la Tabla 1. La selección de los coeficientes para cada tamaño de grano se ajusta a los criterios estándar de Fuller y Thompson. Hemos llamado a cada familia de tamaños de agregados con un índice numérico para facilitar la posterior discusión de los resultados. Como se explicó antes, vamos a distinguir dos tipos de agregados según su origen: agregado triturado, AT, derivado de la molienda y el agregado natural AN, procedente directamente de rocas de río. Cabe aclarar que el material perteneciente al índice 1 fue siempre una arena natural de río. Nuestra intención aquí es estudiar el efecto que las distintas proporciones de agregados gruesos y finos (triturados o naturales) tienen en la resistencia del hormigón, dejando de lado el efecto de polvo triturado que ya ha sido estudiado por otros autores como

Çelik, T. *et al.* (1996). Es por ello que utilizamos sólo arena natural en nuestros ensayos.

Como se ha explicado, variaremos la relación AT/AN presente en la curva granulométrica total. Las proporciones utilizadas estarán definidas así:

$$f = \frac{AT}{(AT + AN)} \cdot 100\% \quad (1)$$

donde AT (AN) se refieren a los pesos de material triturado (natural) participantes en la curva granulométrica de los agregados para los tamaños con índice 2 a 5. De este modo, una mezcla con $f=0\%$ significa que sólo hay presencia de agregados naturales y un $f=100\%$ significa que sólo hay presencia de agregados triturados en la mezcla. Se eligieron para trabajar cinco porcentajes distintos: 0, 25, 50, 75 y 100%.

Tabla 1: Curva granulométrica de los agregados

índice	Tamaño de Tamices (mm)	Retenido (%)	Cumulante (%)
5	25-20	13.9	13.9
4	20-10	24.8	38.7
3	10-5	17.8	56.5
2	5-2	15.2	71.7
1	2-0.1	28.3	100

Para cada familia de tamaño de los agregados (Tabla 1) se midieron la densidad real, δ , y la densidad aparente δ_a . También se midió δ_a para las cinco mezclas con diferentes fracciones f . Para el caso de la densidad real, se tomaron diez muestras estadísticas para cada familia de tamaño. Cada muestra se pesó en una balanza analítica con precisión de 10^{-3} g. El volumen de granos se mide por la diferencia entre un volumen inicial de agua en un tubo de ensayo y el volumen final del sistema de agua y granos, una vez que los granos fueron sumergidos en el tubo de ensayo con agua. El tubo tenía una mínima división de 5ml.

La densidad aparente, δ_a , será definida como el cociente entre la masa de la muestra y el volumen que ella ocupa al ser vertida a flujo constante en un contenedor de volumen bien conocido. El volumen de dicho contenedor es de 5807 ± 30 ml y su tara es de 670 ± 10 g. Como se ha explicado anteriormente, el material se vierte en el recipiente a altura y caudal constante, con la ayuda de una tolva. El recipiente se llena más allá de su borde para luego enrasarlo con la ayuda de una regla metálica, tirando el exceso eliminado por la regla. Después de esto, el contenedor se pesa utilizando una balanza electrónica con precisión de 10 g. De este modo, el cociente entre la masa en el interior del contenedor y el volumen ocupado por la misma dan el valor de δ_a . El procedimiento se repite 15 veces para promediar resultados.

Con los resultados anteriores se calculó la compacidad c para cada una de las familias de tamaño y para cada una de las cinco mezclas de agregados naturales y triturados. La compacidad se define como el cociente entre el volumen de los granos y el volumen total ocupado por ellos, lo que se puede aproximar por (Degouet, C. 2005):

$$c = \frac{\delta_a}{\delta} \quad (2)$$

La medición de c nos da una idea de cómo se organizan los granos en un empaquetamiento en función de su tamaño. Este parámetro será importante para describir la resistencia a la compresión de los materiales en una mezcla de hormigón.

Prácticamente, no se encontraron diferencias apreciables en las densidades reales medidas sobre los distintos conjuntos de tamaños de partículas. El valor promedio para los agregados naturales fue de 2.73 ± 0.08 gr/cm³, mientras que para los triturados fue de 2.72 ± 0.08 gr/cm³.

Las Figuras 1 y 2 muestran los resultados para c . La Figura 1 muestra la compacidad para cada uno de los conjuntos de tamaño de la Tabla 1, tanto para AN como AT. La Figura 2 muestra los resultados para las cinco mezclas con diferentes proporciones f y manteniendo siempre la misma curva granulométrica.

Como se puede apreciar en la Figura 1, c tiende a aumentar con el tamaño de los agregados. Esta tendencia no está tan clara para la piedra natural, donde la variación es pequeña. Como era de esperar, la compacidad para los AN es mayor que la de los AT.

Por otro lado, los valores de c para las mezclas con diferentes proporciones f , muestran un comportamiento interesante. Tan pronto como el porcentaje de triturados aumenta, la compacidad de toda la mezcla disminuye. Esta es una clara

tendencia que estará relacionada con el comportamiento del hormigón bajo compresión uniaxial, como se verá más adelante.

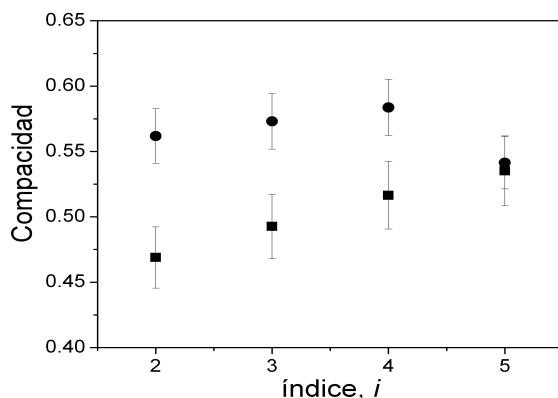


Figura 1: Compacidad para cada familia de tamaño de la Tabla 1. Los círculos corresponden a AN y los cuadrados a AT. Se indican las barras de error.

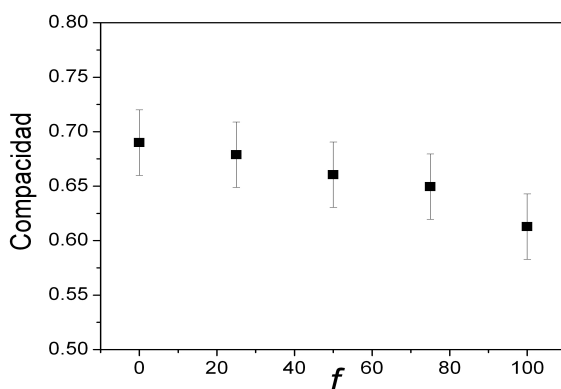


Figura 2: Compacidad para cada mezcla de proporción f .

Por otra parte, para el cálculo de los índices de aplastamiento y elongación, recordemos que se definen como:

$$\alpha = \frac{T}{W} \quad ; \quad \beta = \frac{W}{L} \quad (3)$$

donde T , W y L representan, respectivamente, el espesor, ancho y largo característicos de un grano. Con esta definición, $\alpha=\beta=1$ corresponden a una forma cúbica o esférica perfecta. Cuanto menor sea el valor de estos índices, más alejado de la geometría cúbica estará el grano. Estos factores se han determinado mediante la medición de las tres dimensiones características, T , W y L , de un número representativo de granos cada conjunto y usando un calibre digital. Es evidente que este método sólo se puede aplicar a conjuntos representados por los índices de tamaño 2 a 5 de la Tabla 1.

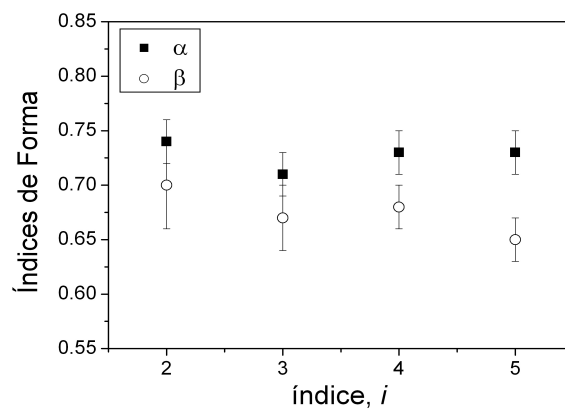


Figura 3: Índices de forma para cada familia de tamaño de AT.

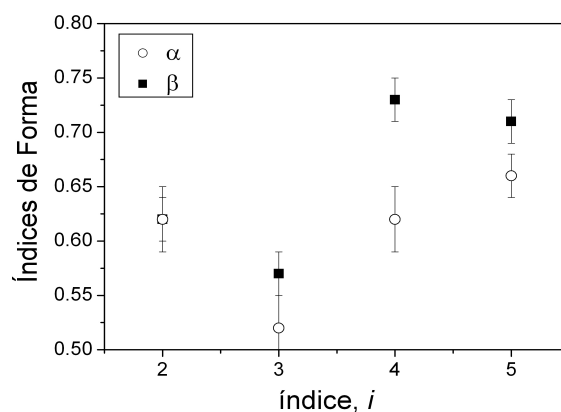


Figura 4: Índices de forma para cada familia de tamaño de AN.

Los resultados correspondientes a la medición de los factores de forma se muestran en las Figuras 3 y 4 para los agregados naturales y triturados, respectivamente.

De las figuras, podemos distinguir los siguientes aspectos. En la mayoría de los casos, el índice de alargamiento es mayor que el de aplastamiento. Como era de esperar, este efecto es más evidente para el caso de AT, como muestra la Figura 4, lo que da una clara evidencia de una geometría lajosa. Por otra parte, los AN presentan un comportamiento más uniforme, como ilustra la Figura 3. Los índices de forma muestran clara correlación con el origen de los agregados.

Además de los índices de forma, una cantidad más útil para nuestros objetivos es la medida de la superficie específica, SSA, que se relaciona con los tamaños de grano característicos (T, L, W) medidos anteriormente.

Para calcular SSA utilizaremos un método teórico desarrollado por Hunger, *et al.* M. (2009). Los detalles de este método se encuentran en la citada referencia. Aquí sólo mostraremos los principales aspectos para realizar nuestros cálculos.

La superficie total de una muestra de partículas mono-dispersas (suponiendo que todas las partículas son esferas ideales) se expresa como:

$$a = \frac{6 m_{\text{muestra}}}{d \rho_s} \quad (4)$$

donde m_{sample} es la masa total de la muestra, d y ρ_s son, respectivamente, el diámetro y la densidad de los granos. Así, la superficie total, S , de un material granular con distribución de tamaño de partícula conocidos pueden ser calculado como:

$$S = 6 \sum_i \frac{\omega_i m_{\text{sample}} \xi_i}{\bar{d}_i \rho} \quad (5)$$

donde ω_i es la fracción de masa de los granos pertenecientes a la familia de tamaños i (Tabla 1), es decir, el porcentaje en masa de los granos con diámetros entre d_i y d_{i+1} , mientras que \bar{d}_i es la media aritmética del diámetro de la fracción ω_i . El factor ξ_i ha de incluirse para corregir la no esfericidad de los granos. Según Hunger, M. *et al.* (2009), dicho factor de forma para cada índice se define como:

$$\xi_i = \frac{s_i}{\alpha_i} \quad (6)$$

donde s_i que se refiere al área superficial de un grano típico que pertenece a la familia de índice i , mientras que α_i es la superficie de un grano esférico que pertenece al mismo conjunto i . Suponiendo un grano en forma de paralelepípedo, calculamos s_i a partir de los resultados obtenidos para T , W y L para cada conjunto. Por otra parte, teniendo en cuenta una esfera con el mismo volumen que el paralelepípedo, se calculó su correspondiente diámetro y se lo utilizó para calcular α_i . Así, se calcula S a partir de la ecuación (5).

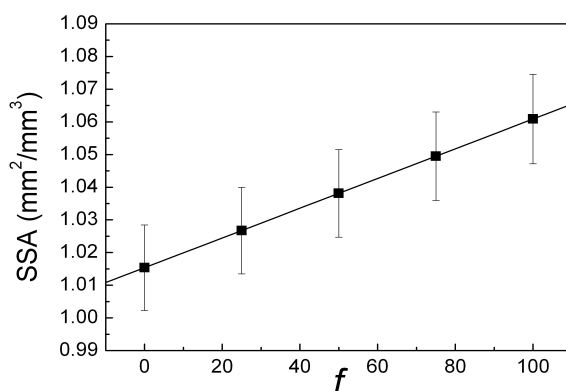


Figura 5: Superficie específica para diferentes porcentajes f .

El cálculo de la SSA es completado dividiendo S por el volumen total de la muestra. Los resultados se muestran en la Figura 5. Como se observa claramente, hay una tendencia lineal creciente de la SSA a medida que aumenta f . Esto está en relación directa con el hecho de que el factor de forma aumenta para los agregados triturados. Mientras mayor sea el porcentaje de AT en la mezcla, la superficie específica SSA será mayor.

Finalmente y dentro de la caracterización física, se realizaron tests de abrasión estándar (tests de Los Ángeles) sobre los agregados. El procedimiento usado fue el siguiente. Se utilizaron los agregados tamizados en tres diferentes rangos de tamaño correspondiente a los índices de tamaños 3, 4 y 5 en la Tabla 1. Preparamos las mezclas de acuerdo a los valores mostrados en la Tabla 2. Cada mezcla pesa 5000g. Cada una de ellas fue colocada en la máquina de Los Ángeles y la abrasión fue realizada con 12 bolas de acero. Se determinó la pérdida porcentual promedio de peso luego de 500 revoluciones a una velocidad de 30 a 33 RPM (revoluciones por minuto). Se realizaron las pruebas A y B (ver Tabla 2) tanto para los agregados naturales como para los triturados. Los resultados obtenidos para los índices de desgaste también se muestran en la Tabla 2. De los valores obtenidos se concluye que los agregados naturales son un poco más resistentes a la abrasión que los triturados. Este comportamiento contribuirá en la misma dirección que el encontrado para la compactación en la Figura 2, es decir, a medida que la fracción f de triturados en la mezcla aumente, dicha mezcla presentará una respuesta más débil a la compresión uniaxial.

Table 2: Results for Los Angeles abrasion tests

Test A			Abrasión para CA	LA(%)	Abrasión para NA	LA(%)
Masa (g) por cada índice						
3	4	5	34.6		30.8	
1250	1250	2500				

Test B			Abrasión para CA	LA(%)	Abrasión para NA	LA(%)
Mass (g) por cada índice						
3	4	5	37.6		29.8	
1750	1750	1500				

Una vez concluida la caracterización física de los agregados, se procedió a la elaboración de los testigos de hormigón para los ensayos de resistencia.

Se preparó una mezcla de hormigón (tipo H21), utilizando agregados gruesos y finos siguiendo la curva granulométrica indicada en la Tabla 1. Se usó una relación W/C igual a 0,6 para todas las experiencias. Es importante recordar que la arena agregada al concreto es siempre de origen natural.

Se prepararon seis testigos de hormigón idénticos para cada uno de los porcentajes f , es decir, se produjeron un total de 30 testigos para ser ensayados. Todas las muestras se realizaron utilizando la misma hormigonera y siguiendo exactamente el mismo procedimiento. Los núcleos fueron curados durante 28 días, sumergidos en agua a temperatura ambiente controlada.

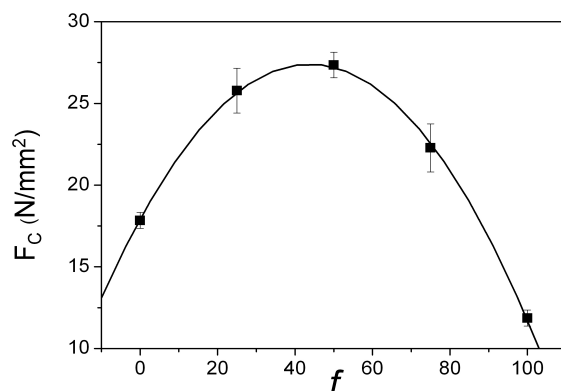


Figura 6: Resistencia a la compresión F_c para diferentes porcentajes f .

La resistencia a la compresión, F_c , de cada muestra se mide de acuerdo con normas estándar (IRAM 1534, 1546 y 1553) y los resultados se representan gráficamente en la Figura 6.

Como se ilustra claramente por la figura, resistencia a la compresión presenta un máximo para una mezcla donde alrededor del 50% de agregado sea de origen triturado. Esta característica está en contraste con la idea que se espera de que los AT son más apropiados para la producción de hormigón de alta resistencia frente a la grava natural, Çelik, T. *et al.* (1996), (Gambhir, M.L. 1990).

Por otro lado, algunos autores han estudiado el efecto de la adición de finos (polvos) de roca triturada a la mezcla para hormigón, encontrando un comportamiento no monótono, con un máximo en la resistencia para un contenido de polvo del 10% respecto al resto de los agregados. Más allá de este porcentaje, la resistencia a la compresión disminuye, Çelik, T. *et al.* (1996). Sin embargo, en este trabajo no usamos agregados triturados en el rango de tamaños de los polvos, sino agregados gruesos y finos hasta 2mm de tamaño, ya que, como se explicara antes, la arena adicionada fue siempre de origen natural.

La presencia de un máximo en el comportamiento de la F_C es el resultado del efecto de la competencia de dos cantidades como se explicará en la próxima sección.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

Los resultados muestran que la compacidad de mezclas con diferentes porcentajes de AN y AT disminuye cuando la relación del contenido de AT aumenta. Este resultado es esperable dado que las partículas redondeadas se organizan dejando menos espacios vacíos en el seno de un apilamiento de granos que las partículas irregulares. Por otro lado, la superficie específica SSA que calculamos muestra un crecimiento lineal directamente relacionado con el factor de forma ξ de los granos. Este factor es mayor cuanto más alejadas de la forma esférica estén las partículas.

Debido al hecho de que tanto W/C como la curva granulométrica se han mantenido constantes durante todos los experimentos, los dos principales factores que influyen en el comportamiento del hormigón bajo compresión uniaxial son la compacidad y la superficie específica.

Por un lado, la disminución de c para las mezclas con una mayor cantidad de AT (mayor f) no favorece la resistencia a la compresión del testigo de hormigón. Por otro lado, el hecho de que SSA aumente con f se provoca un incremento en las necesidades de agua para la mezcla. Es sabido que los agregados de mayor superficie específica requieren más agua en la mezcla para que la superficie de las partículas se moje de manera adecuada, Çelik, T. *et al.* (1996).

Debido a que W/C es constante, la cantidad de agua disponible para los granos es siempre la misma y, en consecuencia, las mezclas con mayor porcentaje de piedras trituradas tendrán menor relación agua/superficie específica, Gallias, J.L. *et al.* (2000). Esto afectará a la resistencia del testigo, dado que, como se conoce, la resistencia del hormigón aumenta a medida que W/C disminuye y los agregados tienen menos cantidad de agua disponible para mojar la superficie de los granos, Kiliç, A. *et al.* (2008).

En resumen, la resistencia a la compresión ha demostrado ser muy sensible tanto al contenido de agua como a la superficie específica, Hunger, M. *et al.* (2009) y Kiliç, A. *et al.* (2008), y, en consecuencia, el aumento de f se traduce en una mejor resistencia a la compresión. Para $f < 50\%$ el efecto predominante es el del SSA, mientras que para $f > 50\%$ el efecto que prevalece es el de la compacidad.

CONCLUSIONES.

Hemos caracterizado los agregados de origen local empleados en la producción de hormigón. Los mismos poseen dos orígenes diferentes, es decir, rocas naturales y

rocas trituradas y fueron divididos en cinco conjuntos de tamaños. La curva granulométrica para preparar diferentes mezclas de agregados se mantiene constante así como también la relación W/C, mientras que la relación f de la presencia relativa de agregados triturados se varió del 0% al 100%.

Los parámetros físicos medidos en los agregados fueron: densidad real y aparente, compactación, índices de forma y superficie específica.

Las pruebas de compresión uniaxial se realizaron sobre los cinco conjuntos de testigos con diferentes relaciones f .

Los resultados obtenidos para la resistencia a la compresión en función de f mostraron una respuesta de máxima resistencia para $f=50\%$. Este resultado podría explicarse teniendo en cuenta dos efectos opuestos, a saber, el comportamiento de la compactación y el que corresponde a la superficie específica de los agregados en función de f .

Hemos encontrado que diferentes mezclas de agregados naturales y triturados, manteniendo la misma curva granulométrica, presentan un cambio en su capacidad de compactación (compactación) y en la superficie específica total que pueden explicar el comportamiento bajo compresión uniaxial de testigos de hormigón hechos a partir de estas diferentes mezclas.

Las perspectivas futuras de este trabajo se orientarán hacia la obtención de un modelo teórico que cuantifique estos dos efectos, a fin de explicar la respuesta en compresión uniaxial de hormigones elaborados con diferentes mezclas de agregados triturados y naturales.

BIBLIOGRAFÍA.

Beshrb, H., Almusallama, A.A., Maslehuddin, M. (2003). Effect of coarse aggregate quality on the mechanical properties of high strength concrete. *Construction and Building Materials* 17 pp 97–103.

Brouwers, H.J.H., Radix, H.J. (2005). Self-Compacting Concrete: Theoretical and experimental study. *Cement and Concrete Research* 35 pp 2116 – 2136.

Çelik, T., Marar, K. (1996). Effects of crushed stone dust on some properties of concrete. *Cement and Concrete Research* 26 pp 1121-1130.

Chen, B., Liu, J. (2004). Effect of aggregate on the fracture behavior of high strength concrete. *Construction and Building Materials* 18 pp 585-590.

de Larrard, F., Belloc, A. (1997). Influence of aggregate on the compressive strength of normal and high-strength concrete. *ACI Mater J* 94 pp 417–26.

Degouet, C. (2005). Caractérisation de matériaux granulaires et de leurs écoulements dans les silos verticaux. *PhD Thesis*, Université de Bretagne Occidentale Brest, France.

Felekoglu, B. (2007). Effects of PSD and surface morphology of micro-aggregates on admixture requirement and mechanical performance of micro-concrete. *Cement & Concrete Composites* 29 pp 481–489.

Gallias, J.L., Kara-Ali, R., Bigas, J.P. (2000). The effect of fine mineral admixtures on water requirement of cement pastes, *Cement and Concrete Research* 30 pp 1543-1549.

Gambhir, M. L. (1990). Concrete Technology, Tata McGraw-Hill, 318 pp., NewDelhi.

Hunger, M., Brouwers, H. J. H. (2008a). Water-powder Mixtures at the Onset of Flowing. *ICCBT2008, International Conference on Construction and Building Technology*, A - (37) pp 411 – 422.

Hunger, M., Brouwers, H. J. H. (2008b). Natural Stone Waste Powders Applied to SCC Mix Design. *Restoration of Buildings and Monuments* 14 pp 131-140.

Hunger, M., Brouwers, H.J.H. (2009). Flow analysis of water–powder mixtures: Application to specific surface area and shape factor. *Cement & Concrete Composites* 31 pp 39–59.

Kılıç, A., Atis, C.D., Teymen, A., Karahan, O., Ozcan, F., Bilim, C., Ozdemir, M. (2008). The influence of aggregate type on the strength and abrasion resistance of high strength concrete. *Cement & Concrete Composites* 30 pp 290–296.

Kwan, A.K.H., Mora, C.F., Chan, H.C. (1997). A shape factor to assess the shape of particles using image analysis. *Powder Technology* 93 pp 47-53.



Mechling, J.M., Lecomte, A., Diliberto, C. (2009). Relation between cement composition and compressive strength of pure pastes, *Cement & Concrete Composites* 31 pp 255-262.

Özturan, T. Çeçen, C. (1997). Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strengths. *Cement and Concrete Research* 27 pp 165-170.

Podczeck, F. (1999). Particle shape analysis of coarse aggregate using digital image processing. *Cement and Concrete Research* 29 pp 1403–1410.

Stroeven, P., Hu, J., Guo, Z. (2009). Shape assessment of particles in concrete technology: 2D image analysis and 3D stereological extrapolation, *Cement & Concrete Composites* 31 pp 84–91.

Wu K.R., Chen B., Yao W., Zhang D. (2001). Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of high-performance concrete. *Cement and Concrete Research* 31 pp 1421–1425.

jornada
IBEROAMERICANA
DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
L I M A - P E R U - 2 0 1 0



EL ENFIBRADO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Alfonso J. Morano Rodríguez⁽¹⁾, José Luis Guillén Viñas⁽²⁾

(1) *Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Universidad Politécnica de Madrid. C/ Alenza 4. 28003 Madrid. España. alfonsoj.morano@upm.es. Miembro del Grupo de Investigación: Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria SCI.*

(2) *guillensanchez@arquinox.es. AMTEC, S. L. Miembro del Grupo de Investigación: Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria SCI.*

RESUMEN

Algunos materiales tradicionales de construcción se refuerzan con fibras con el fin de obtener ciertas propiedades que mejoren la calidad del producto final. Los materiales que se suelen enfibrar son los derivados del cemento (hormigones proyectados, soleras y prefabricado tipo GRC) y del yeso (prefabricados de yeso).

Las fibras que se utilizan como refuerzo de este tipo de productos son básicamente tres:

- Fibra de vidrio
- Fibra de polipropileno
- Fibra de acero y otros

- La **fibra de vidrio** se emplea en el prefabricado de yeso, aunque hay un tipo muy especial de prefabricado de hormigón conocido comercialmente como GRC que también incorpora este tipo de fibra, aunque con un tratamiento “anti-alcalino”.

- La **fibra de polipropileno** se mezcla con la masa de hormigón con el fin de evitar la fisuración por retracción del hormigón endurecido. Las aplicaciones son básicamente dos: Bombeos y gunitados de hormigón y Hormigón impreso.

- La **fibra de acero** se aplica de forma similar a la fibra de polipropileno, pero la finalidad es reforzar el hormigón desde el punto de vista estructural, reemplazando al mallazo de acero.

- Hay otro tipo de fibras que se emplean en gunitados de hormigón, siendo el caso más representativo el de la **fibra de basalto**.

Esta fibra se obtiene a partir de un complejo proceso productivo en el que la roca basáltica se funde en un horno de gas a 1580 °C y se bate mediante un proceso de centrifugación. En empleo de las fibras de basalto como refuerzo del hormigón es bastante reciente.

ABSTRACT

Some traditional building materials with reinforcing fibers to obtain certain properties that improve the quality of the final product. The materials that usually refill with fiber are derived cement (sprayed concrete, floors and prefabricated GRC) and gypsum (plaster prefabricated).

The fibers used as reinforcement of these products are basically three:

- Fiberglass
- Polypropylene fiber
- Steel fiber and other
- The **glass fiber** used in the prefabricated plaster, although there is a very special type of concrete masonry commercially known as GRC also incorporates this type of fiber, although treatment with "anti-alkaline".
- The **polypropylene fiber** is mixed with the mass concrete in order to avoid shrinkage cracking of hardened concrete. Applications are basically two: Pumping concrete and shotcrete and concrete.
- The **steel fiber** is applied similar to the polypropylene fiber, but the aim is to strengthen the concrete from the structural viewpoint, replacing the steel mesh.
- There is another type of fiber used in gun concrete or shotcrete, being the most representative case the **basalt fiber**.

This fiber is obtained from a complex production process in which the basaltic rock is melted in a gas oven to 1580 °C and beaten by centrifugation. In use of basalt fibers as reinforcement of concrete is fairly recent.

Palabras claves: Fibra, refuerzo, materiales de construcción. Fiber, reinforcement, building materials.

1.- INTRODUCCIÓN.

Se consideran fibras aquellos cuerpos cuya longitud es mucho mayor que su grosor. Básicamente las fibras se utilizan como refuerzo de productos prefabricados, pero también se aplican directamente en obra, como por ejemplo en el caso de morteros de proyección y gunitados de hormigón. No solo la construcción y sus productos necesitan fibras; hay una infinidad de útiles y productos finales que están reforzados con fibras de diferentes tipos.

Las fibras se pueden clasificar de varias formas, atendiendo a su composición, propiedades y aspecto. Por ejemplo se distinguen:

- Fibras metálicas y no metálicas
- Fibras naturales y artificiales
- Fibras rígidas y plásticas

Realmente las fibras actúan como un refuerzo de tipo mecánico, constituyendo una armadura interior, que aporta resistencia y rigidez a diferentes productos. Atendiendo a la propia resistencia de las fibras se pueden clasificar en “Estructurales y No Estructurales

- Fibras estructurales. Aquellas cuyo módulo de elasticidad > 25 GPa
- Fibras no estructurales. Aquellas cuyo módulo de elasticidad < 25 GPa

A lo largo del artículo se van a ir analizando con detalle algunos tipos de fibras y sus aplicaciones. Las fibras poliméricas, fibras de acero, fibras de vidrio y fibras de basalto son las que principalmente se van a tratar en este artículo. Otros tipos de fibras como las vegetales no son objeto de estudio del presente artículo.

Existen otras fibras para usos estructurales en hormigón, tales como carbono, aramida y alcohol – polivinilo. Su empleo está menos extendido que debido a factores como el precio o peores prestaciones

2.- FIBRA DE VIDRIO.

La fibra de vidrio se obtiene al hacer fluir vidrio fundido (1550°C) a través de una matriz llena de orificios muy finos (proceso de extrusión y estirado), de forma que al enfriarse los hilos o filamentos que se obtienen, se someten a un ensimaje, obteniendo las propiedades mecánicas (resistencia y flexibilidad) necesarias para ser usados como fibras industriales.

Gracias a sus magníficas propiedades la fibra de vidrio se utiliza de forma generalizada como refuerzo de muchos productos. Como producto comercial la fibra de vidrio se suministra en tres formas: En hilo (spray roving, hilo cortado), en malla y en manta (mats, velos). La utilización de uno u otro producto depende del uso final y del tipo de instalación.

Existen 5 tipos de fibras de vidrio: E, R, D, AR y C. Cada tipo de fibra presenta una composición química bien definida, así como unas propiedades bien definidas para cada aplicación.

La fibra de vidrio como producto comercial en hilo, “spray roving” (ver foto 1) para uso industrial se define mediante los siguientes parámetros:

- Diámetro de filamento (μm)
- Tipo de fibra de vidrio (E, R, D, AR, C)
- Tipo de ligante (p.e. Xilano)
- Densidad de la hebra (Tex g/km)
- Densidad roving (Tex g/km)
- Densidad masa (g/cm^3)
- Pérdida por ignición (%)
- Contenido de Humedad (%)



Fotografía 1: Bobina de fibra de vidrio (spray roving). (Gentileza de PROQUINSA)

En el caso del hormigón, aunque la principal aplicación es para el GRC, si se aporta directamente fibra de vidrio AR al hormigón en masa, se consiguen incrementos notables de resistencia a flexotracción, tenacidad, ductilidad y capacidad portante. Mejora la adherencia del hormigón proyectado admitiendo mayores espesores de capa; igualmente mejora la durabilidad y el acabado superficial y evita la microfisuración anterior y posterior al fraguado. La dosificación es de 0,1% - 0,4% en peso ($6 \text{ kg/m}^3 - 12 \text{ kg/m}^3$).

2.1.- PREFABRICADOS DE YESO.

El yeso fraguado (normalmente semihidrato beta) usado como material de construcción es un producto que carece de la resistencia mecánica interna suficiente. Algunos prefabricados de yeso y escayola suelen ir enfibrados, adquiriendo por lo tanto la resistencia mecánica necesaria según la aplicación o uso final.

Tal es el caso de los falsos techos tanto continuos (placa lisa) como discontinuos (techos desmontables). Los tabiques, molduras, columnas de escayola, etc., pueden igualmente estar reforzados con fibra de vidrio

En algunos países como en el Reino Unido al prefabricado de yeso enfibrado se le denomina GRG (Glass Fibre Reinforced Gypsum). El GRG de alta calidad se hace con semihidrato alfa y fibra de vidrio obteniendo producto de una dureza y calidad sorprendentes.

Las líneas de producción modernas de prefabricados están adaptadas para utilizar las bobinas de spray roving, de modo que el hilo atraviesa un útil de corte que divide

el hilo en tramos cortos (en general entre 4 cm y 12 cm), los cuales se depositan en la pasta (mezcla de agua y polvo de yeso). La dispersión de la fibra en la pasta es aleatoria pero homogénea y según el refuerzo que se quiera obtener se dosificará más o menos cantidad de fibra.

Aunque la fibra de vidrio supone un coste productivo como materia prima, su adición permite obtener prefabricados con espesores más finos, y evitar la utilización de yesos mucho más costosos como el semihidrato alfa. Gracias a la fibra se consiguen importantes ahorros, considerando también que la cantidad de yeso se reduce y se mejora la calidad y aspecto del producto.

El principal problema que se presenta en las líneas de producción automatizadas de prefabricados de escayola es la generación de “electricidad estática” que dificulta las operaciones de corte del hilo de roving. Esto se soluciona dando un tratamiento “antiestático” a la fibra.

2.1.1.- Caso práctico: tabiques de yeso

Los paneles de yeso para tabiquería fabricados de semihidrato beta, alcanzan resistencias mecánicas muy elevadas gracias a la fibra. Los elementos que componen el panel son tres: yeso en polvo, agua y fibra de vidrio. El yeso es conforme a la Norma EN 13279 - 1: 2005. La fibra de vidrio es de tipo E con longitudes que varían entre 6 y 30 mm. La fibra se incorpora a la masa en una proporción determinada de 3 kg por 30 kg de yeso.

Tabla 1: Datos técnicos de tabiques de yeso.

	Panel de 700 mm	Panel de 900 mm
Longitud (mm)	2500 - 2900	2500 - 2900
Ancho (mm)	505	505
Espesor (mm)	70	90
Peso (kg / mm ²)	> 40	> 40
Resistencia a flexión (kN)	> 0,5	> 0,7
Dureza Shore C	55 - 70	55 - 70

En el ensayo a flexión la distancia entre apoyos es de 2,10 m.

2.2.- PREFABRICADOS DE HORMIGON. PANELES GRC.

La fibra de vidrio que se emplea en el prefabricado GRC es de tipo AR. Esta fibra posee un alto contenido en óxido de zirconio y presenta muy buenas propiedades de resistencia a compuestos alcalinos.

GRC es una marca de producto propiedad de Preinco y dichas siglas representan las letras iniciales de Glass Fibre Reinforced Cement (Cemento Reforzado con Fibra de Vidrio). El GRC es un composite (material compuesto), siendo su matriz un microhormigón de cemento pórtland, armado y reforzado con fibra de vidrio, dispersa en toda la masa. El producto resultante es un panel que presenta una sección de 10 mm y por lo tanto muy ligero.

Las principales propiedades de este prefabricado son:

- Durabilidad
- Alta resistencia a flexión y tracción debido a las propiedades de la fibra de vidrio
- Gran resistencia al impacto, debido a la absorción de la energía cinética del golpe por los haces de fibra de vidrio
- Impermeabilidad y muy buena resistencia a agentes atmosféricos

Todos los ensayos y controles de fabricación de los paneles GRC están basados en la Norma UNE EN - 1170: 1998.

La fibra de vidrio utilizada para GRC es de tipo Roving AR, y debe ser resistente a los álcalis (por eso se denomina "fibra antialcalina"), para evitar la reacción química ácido - álcalis. Estas fibras son filamentos de vidrio AR con un ensimaje aplicado sobre ellos, con una proporción máxima del 3%. Las características técnicas de la fibra AR son:

- Contenido mínimo en ZrO_2 $> 15\%$
- Pérdida a Fuego $= 2\%$
- Diámetro del filamento $= 14 \mu m$
- Número de filamentos $= 200$ por hebra
- Tex de la hebra (g / km) $= 76 - 82$ tex
- Masa lineal (g / km) $= 2450$ CAS

- Densidad: $= 2,7 \text{ g/cm}^3$
- Alargamiento a rotura de la hebra $= 4,5\%$
- Modulo de Young $= 72000 \text{ MPa}$
- Resistencia a tracción de la hebra $= 1700 \text{ MPa}$
- Resistencia del filamento virgen $= 3500 \text{ MPa}$

2.3.- COMPOSITES.

Los composites o materiales compuestos son básicamente combinaciones de polímeros con fibras. El más común es el Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio, conocido por PRFV. También se utiliza la poliamida reforzada en algunas aplicaciones.

Las aplicaciones de los composites son muy diversas: Tuberías, Piscinas, Depósitos Cisternas y Tanques, Cascos de Embarcaciones, Armarios para Instalaciones Eléctricas, Componentes de los Generadores Eólicos (Palas y Nacelles), Tableros para Encofrados, Mástiles y otros muchos usos como en Automoción y Aeronáutica.

3.- FIBRA DE ACERO.

El principal uso de la fibra de acero es como armadura del hormigón bombeado y proyectado. El término técnico es "hormigón gunitado". La fibra de acero se dosifica (gramos de fibra /m³ de hormigón). La principal y más importante aplicación de los gunitados se realiza en túneles y taludes, aunque en los últimos años se han desarrollado otras aplicaciones como es el caso de las piscinas y los gunitados de pantallas de pilotes.

La fibra de acero se aplica de forma similar a la fibra de polipropileno, como se verá en el punto 5.1) pero la finalidad es reforzar el hormigón desde el punto de vista estructural, reemplazando al mallazo de acero. Estas fibras deberán ser acordes con la norma UNE 83500-1. Dependiendo del proceso de fabricación se clasifican en: Trefiladas (Tipo I), Cortadas En láminas (Tipo II), Extraídas por rascado en caliente (virutas de acero, Tipo III) en incluso fibras de acero fundidas (Tipo IV). La forma de la fibra influye directamente en las características del hormigón y puede ser muy variada: Recta, ondulada, corrugada, conformada en los extremos, etc.

La longitud de la fibra se recomienda que sea como mínimo dos veces el árido de mayor tamaño, aunque es habitual el empleo de longitudes de hasta tres veces el tamaño máximo del árido. En el caso de gunitados el diámetro de la tubería de bombeo exige que la longitud de la fibra sea inferior a 2/3 de diámetro de dicho tubo.

Las fibras de acero pueden presentar diferentes secciones (circular, cuadrada, triangular, plana, etc.). Longitudinalmente pueden ser planas, torsionadas, dobladas con un ángulo fijo, con gancho (tipo omega), etc.

La fibra de acero aporta al hormigón proyectado un aumento de la trabazón con la matriz de cemento, un aumento de la resistencia a tracción, un aumento importante de la tenacidad, un incremento notable de la resistencia a flexión y de la ductilidad. Así mismo evita las figuraciones durante el proceso de endurecimiento, es resistente a la abrasión, las vibraciones y explosiones, pero por el contrario no es resistente a la corrosión.



Fotografía 2: Fibra metálica de acero conformada.

4.- FIBRA DE BASALTO.

Hay otro tipo de fibras que se emplean en gunitados de hormigón, siendo el caso más representativo el de la fibra de basalto. (Fotografía 3)

Esta fibra se obtiene a partir de un complejo proceso productivo en el que la roca basáltica se funde en un horno de gas a 1580 °C y se bate mediante un proceso de centrifugación. Se consiguen fibras de 60 mm a 100 mm de longitud con un diámetro entre 7 μm y 13 μm . La optimización de la tecnología de producción está incrementando el aumento de capacidad productiva, reduciendo los costes de fabricación y promoviendo la aparición de nuevos fabricantes.

En empleo de las fibras de basalto como refuerzo del hormigón es bastante reciente. Existen pocos antecedentes de su empleo pero se constata su gran potencial gracias a sus excelentes propiedades. El producto más similar dentro de los expuestos sería la fibra de vidrio pero las propiedades de la fibra de basalto son en general superiores para el refuerzo de hormigón. Por ejemplo, la fibra de basalto es resistente a los ácidos y presenta un alto módulo de elasticidad, lo que unido a su capacidad de deformación, le aportan una excepcional tenacidad. La fibra de basalto

se emplea en también en la confección de materiales textiles resistentes al fuego, en la industria aeroespacial y en automoción.

Al ser resistentes al medio alcalino (como la fibra de vidrio AR) es factible su empleo como refuerzo del hormigón.



Fotografía 3: Fibra de basalto.

4.1.- FIBRA DE BASALTO vs FIBRA DE VIDRIO.

El cuadro adjunto ilustra las propiedades de ambas fibras (basalto y vidrio) permitiendo establecer una comparación entre ambas.

Tabla 1: Comparativa de fibra de basalto y de vidrio

	Fibra de basalto	Fibra de vidrio
Densidad (g/cm ³)	2,75	2,6
Diámetro medio del filamento (µms)	De 9 a 23	De 9 a 13
Resistencia máxima a tracción (MPa)	4840	3450
Resistencia a compresión (psi)	550	440
Modulo de elasticidad (GPa)	89	77
Coefficiente de expansión lineal (x10 /K)	5,5	5
Elongación hasta la rotura (%)	3,15	4,7
Absorción de agua (65% RH)	< 0,1	< 0,1

Se observa claramente que en general las características mecánicas de la fibra de basalto superan a la fibra de vidrio.

5.- FIBRAS DE POLIMERICAS.

El producto de uso más extendido dentro de las poliméricas es la fibra de polipropileno. Se emplea sobre todo para los proyectados o gunitados de hormigón (caso de los túneles y taludes), pero también se utiliza en el caso de las soleras y en las placas de hormigón impreso.

Se clasifican en dos tipos de fibras:

- Fibras Micro-Sintéticas. De 6 mm - 64 mm de largo, de 34 μm - 56 μm de diámetro
- Fibras Macro-Sintéticas. > 64 mm de largo, > 56 μm de diámetro

Químicamente se identifican como poliolefinas y son dos: Polipropileno y Polietileno. El polipropileno es un polímero del propileno y el polietileno es un polímero de la resina del etileno. (Fotografía 4).



Fotografía 4: Fibra polimérica.

5.1.- FIBRA DE POLIPROPILENO.

El objetivo de enfibrar el mortero de hormigón con fibra de polipropileno es evitar la microfisuración, consecuencia de la retracción.

La fibra de polipropileno se caracteriza en base a los siguientes parámetros: Densidad, Punto de fusión, Modulo de Young, Elongación, Resistencia, Longitud, Sección, Diámetro, Densidad lineal. Un ejemplo típico de fibra de polipropileno se adjunta a continuación:

Densidad	0.91 g/cm ³
Punto de fusión	150 °C
Módulo de Young	3,5 kN/mm ²
Tipo de fibra	Mono filamento
Longitud (según aplicación) ---mm	6, 12, 18, 24
Tipo de sección	Oval
Diámetro	34 µm
Densidad lineal dtex	7 deniers, 6.6
Número de fibras	125 millones/ kg
Elongación	40 – 60 %
Resistencia	> 5 g/denier
Rizado arcs/cm	0 – 2 semi
Color	Natural

Dentro del hormigón, los campos de aplicación del polipropileno son los siguientes: Pavimentos tradicionales, Suelos industriales, Hormigón extrusionado, Hormigón prefabricado, Hormigón impreso, Gunitados (taludes, piscinas, pantallas de pilotes, etc.)

La fibra de polipropileno se puede añadir en la al mortero o al hormigón, bien en la planta o bien en la obra. La mezcla debe ser adaptada en función de la granulometría, del tipo de mezclador, de la plasticidad del hormigón y del momento de carga del mismo.

Generalmente se envasará en bolsas de papel biodegradable e hidrosoluble, que se pueden incorporar en el hormigón. Consecuentemente no será precios abrirlas antes de introducirlas en la hormigonera. En la planta de hormigón, las bolsas serán introducidas en el mezclador, preferentemente antes del mojado. En la obra, las bolsas serán introducidas en la hormigonera, realizándose la mezcla durante unos 5 min. - 7 min. para conseguir una buena repartición de las fibras. La dosis habitual de las fibras suele ser 600 g/m³ de hormigón. Las fibras de polipropileno no deben ser utilizadas a una temperatura superior a 140 °C.



Fotografía 5: Fibra polimérica estrellada.

Las arenas y las gravas deberán estar conformes a las normas en vigor. Del mismo modo los cementos empleados deberán estar conformes a las normas en vigor, así como las dosis utilizadas. Los cementos más corrientemente empleados son los de tipo CEM I y CEM II. Para garantizar el óptimo efecto de las fibras, la cantidad de agua añadida deberá en todos los casos respetar una relación A/C inferior a 0,60 y estar conforme a la norma en vigor. Los aditivos utilizados podrán ser de tipo fluidificante o plastificante, y siempre conformes a las normas en vigor.

La fibra de polipropileno se mezcla con la masa de hormigón con el fin de evitar la fisuración por retracción del hormigón endurecido. La fibra de polipropileno es un tipo de fibra polimérica (fibras plásticas) y su empleo está regulado por la norma UNE 83500-2. Según el proceso de fabricación se clasifican en: Monofilamentos

extruidos (Tipo I), Láminas fibriladas (Tipo II) y según el tamaño se clasifican en Macrofibras y Microfibras. Las macrofibras pueden colaborar estructuralmente, con una longitud entre 20 mm - 60 mm, pero guardando una relación Longitud / Tamaño de árido de 3/1. Las microfibras son las más empleadas, pero no asumen funciones estructurales. Se utilizan para reducir la retracción plástica del hormigón sobre todo en pavimentos y soleras. Las microfibras también se utilizan para mejorar el comportamiento frente al fuego siendo conveniente en este caso que el número de fibras por kilo sea muy elevado.

Las microfibras de polipropileno tienen un módulo de elasticidad y una resistencia a tracción menores que las macrofibras.

Hay dos razones básicas de las microfibras: Evitar la microfisuración y Resistencia pasiva al fuego. La principal aplicación es para hormigones de revestimiento y hormigones impresos.

La fibra de adición en bolsas según la dosificación requerida, en la masa de hormigón y se procede al bombeo o gunitado del mismo. El gunitado de hormigón o mortero se suele llevar a cabo en taludes, pantallas de pilotes, piscinas y soleras.

El hormigón reforzado con fibra de polipropileno presenta unas propiedades bien definidas: Mas ligero, mayor adherencia al terreno del hormigón proyectado, incremento de la ductilidad del hormigón, resistente a la corrosión y a los ataques químicos de álcalis y ácidos, incremento de la durabilidad, resistencia pasiva al fuego con dosificaciones de 2 kg/m^3 (con dosificaciones mayores se reducen y eliminan las fisuras), incremento proporcional a la cantidad de fibra utilizada de la tenacidad, resistencia al impacto y resistencia a la flexión.

5.2.- FIBRA DE POLIOLEFINA IMPREGNADA CON RESINA (PE).

Se fabrican a partir del polietileno de alta calidad, impregnado con una capa de resina. La fibra presenta un perfil corrugado que favorece positivamente su trabazón con el hormigón. Químicamente es inerte, y resistente a los álcalis, ácidos y sales. No sufre corrosión, es muy dúctil, se dispersa de forma homogénea en la masa de hormigón.

Proporciona al hormigón una alta tenacidad a tracción con dosificaciones de fibra superiores a 10 kg/m^2 .

El hormigón reforzado con fibras de polietileno es ligero, tenaz, dúctil, duradero. Adquiere resistencia pasiva al fuego con dosificaciones de 1 kg/m^3 .

6.- OTRAS FIBRAS.

Existen otros dos tipos de fibras de uso estructural que se van definir someramente a continuación. Son la fibra de carbono y la de aramida.

La fibra de carbono se obtiene a partir de dos tipos de materiales: Polímeros textiles como el rayón o el poliacrilonitrilo (PAN) y alquitranes, procedentes de las refinerías de petróleo o carbón. Las fibras de carbono se obtienen mediante procesos de grafitización a altas temperaturas. Pueden alcanzar módulos de elasticidad de hasta 1000 GPa.

En los últimos años se han desarrollado nuevas técnicas más económicas para la obtención de fibras de carbono adecuadas para el refuerzo del hormigón. A pesar de los esfuerzos en I+D el coste de este tipo de fibra sigue siendo muy elevado, por lo que su utilización se limita a obras emblemáticas (puentes y edificios).

El hormigón reforzado con fibra de carbono presenta una elevada resistencia a tracción y flexión, es muy tenaz, muy resistente a la fisuración, muy duradero, ligero, químicamente estable y resiste altas temperaturas. Además es resistente a seísmos, vibraciones y explosiones. Por último, con dosificaciones de 0,2% – 0,4% en volumen para sostenimientos y revestimientos, gracias a su conductividad eléctrica permite convertir a estos en inteligentes.

La fibra de carbono será considerada “la fibra del siglo XXI” para el refuerzo del hormigón, desde el momento en que pueda ser más competitiva.

La fibra sintética aramida es un producto bastante joven (finales del siglo XX), se obtiene a partir de copolímeros mediante diferentes procesos de fabricación. Uno de ellos es el denominado Kevlar, utilizado en muchas aplicaciones de seguridad y militares. La fibra de aramida es cinco veces más dura que la de acero (por unidad de masa), es muy tenaz, elástica y mecánicamente muy resistente. Igualmente es resistente a la abrasión y a los álcalis. Sin embargo es sensible a la humedad y a las sales.

El hormigón reforzado con fibra aramida es muy resistente y tenaz, presenta comportamiento elasto-plástico, es dúctil y ligero, tiene muy buena resistencia a la fisuración, al impacto y la fatiga. También es duradero y resiste bien los seísmos.

La fibra de aramida consigue que los hormigones proyectados sean adecuados para revestimiento de túneles que ejerzan fuertes presiones y deformaciones del terreno.

Al igual que la fibra de carbono, es un producto cuyo coste es elevado, por lo que actualmente los fabricantes están intentando reducir dicho coste.

7.- CONCLUSIONES.

Como se puede observar todas las fibras mejoran las propiedades mecánicas de los materiales a las que se les añade, fundamentalmente a la resistencia a tracción y por tanto todas las características relacionadas con esta propiedad, elasticidad, absorción de energía, ductibilidad, etc.

La razón de utilizar una u otra fibra está relacionada con las propiedades de la fibra y lo que se le va a solicitar de prestaciones a la misma, como un comportamiento al fuego mejor del material compuesto. Pero lo más importante es el precio de la misma.

Todo lo indicado hace presumir que los materiales de construcción que poseen un comportamiento frágil serán todos reforzados y en un breve espacio de tiempo los hormigones no tendrán barras corrugadas (hierro) en su interior serán sustituidas por fibras, principalmente metálicas.

8.- AGREDECIMIENTOS.

Los autores del presente artículo quieren agradecer a su colaboración a las empresas:

- Productos Químicos Internacionales, S. A. PROQUINSA
- AMTEC, S. L.
- FMP Girona, S. L.

9.- BIBLIOGRAFÍA.

Cornejo Álvarez, L. (2005). Nuevas tendencias en los revestimientos de túneles. Geoconsult.

Laning, A. (1992). Synthetic fibers, Concrete Construction, 87-90.

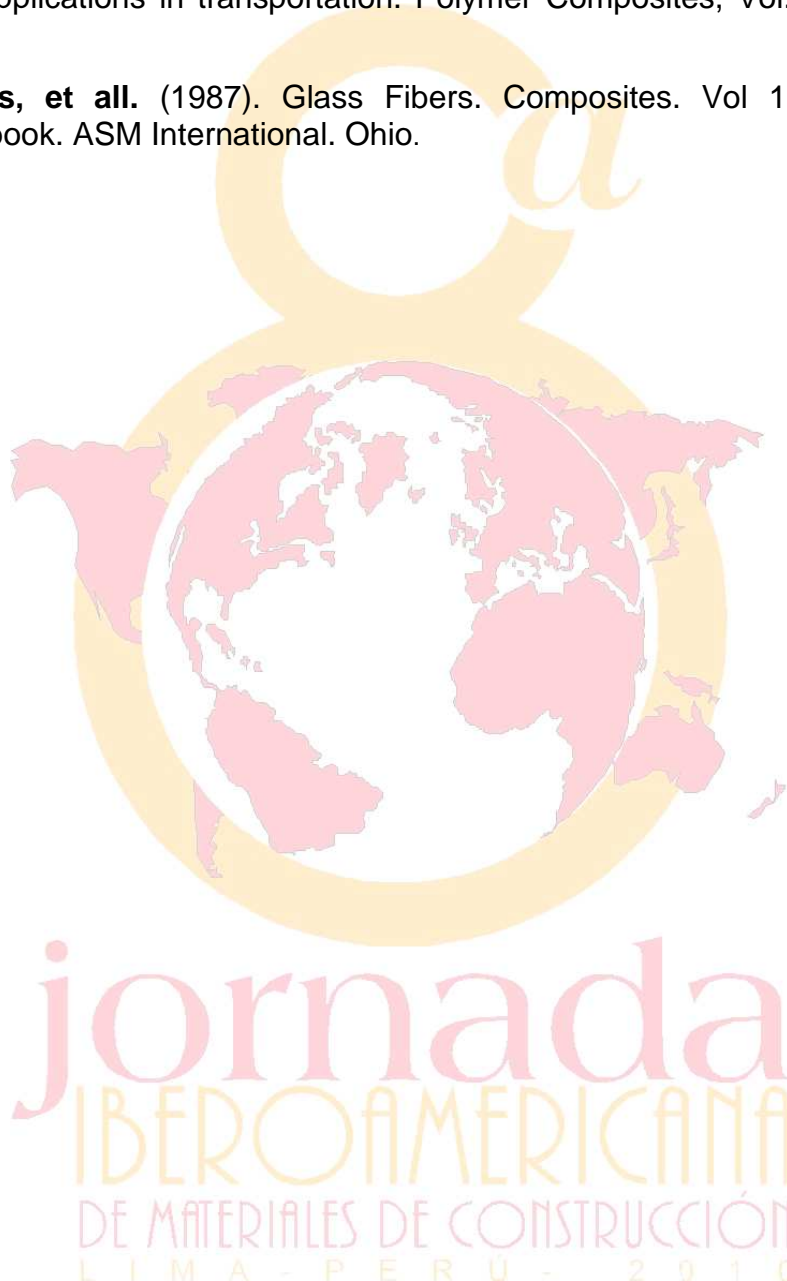
Ministerio de la Presidencia. (2008). Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08). Anejo 14. Recomendaciones para la utilización de hormigón con fibras, pp. 505-525.



Moraño Rodríguez, A. J. et all (1998). Caracterización de morteros con refuerzos de fibras no convencionales. CYTED. Seminario Iberoamericano de concreto reforzados con fibras vegetales.

Qiang Liu, et all. (2005). Investigation of basalt fiber composite mechanical properties for applications in transportation. Polymer Composites, Vol. 27, Issue 1, pp. 41-48.

Watson, James, et all. (1987). Glass Fibers. Composites. Vol 1. Engineered Materials Handbook. ASM International. Ohio.



HORMIGÓN CON INCORPORACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS

Gustavo Luis Bolla ⁽¹⁾, Patricia Viviana López ⁽¹⁾, Susana Rosa Facendini ⁽¹⁾

(1) Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Paraná. Calle Almafuerte 1033 Paraná. Entre Ríos. Argentina.

E-mail: bollagustavo@arnet.com.ar; patricia_lopez40@hotmail.com; sufacendini@yahoo.com.ar

RESUMEN

El reciclado de materiales de carreteras usado en nuevas obras permite un ahorro energético, ambiental y de costos. Se realizó un estudio comparativo de características y resistencias entre un hormigón convencional y otros elaborados con distintos porcentajes de árido grueso reciclado.

ABSTRACT

The recycling of aggregates from road demolition used in new works, allows energy, environmental and cost savings.

A comparative study of characteristics and resistance between a conventional concrete and elaborated with different percentages of recycled coarse aggregate has been made.

Palabras Clave: Reciclado – Materiales – Hormigón – Resistencia.

1.- INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, para la rehabilitación y construcción de carreteras es imprescindible minimizar los costos energéticos y el impacto ambiental; fundamentalmente los generados por la explotación de los materiales y el transporte.

En la Provincia de Entre Ríos, Argentina, se generan importantes cantidades RCD (residuos de la construcción y demolición), producto de los trabajos de bacheos, y repavimentación de carreteras de hormigón, los cuales quedan diseminados indiscriminadamente en la zona de influencia de cada obra, acrecentando la contaminación del ambiente. En particular, durante los años 2004 y 2005 se han relevado en el sector este de la provincia, 0,87 Tn/Km/año de residuos producto de la demolición de pavimentos [1].

En la construcción de obras viales, el costo del transporte de los áridos representa en ésta provincia más del 300% del costo de producción del material, realizándose casi en su totalidad por camiones, sistema altamente ineficiente y consumidor de gran cantidad de energía no renovable. Por lo tanto es imperioso apelar a sistemas variantes mas eficientes. Una de las formas, es el procesamiento la utilización de los RCD (residuos de la construcción y la demolición) en las nuevas obras.

En éste trabajo se realizó un estudio comparativo entre un hormigón convencional y hormigones elaborados con diferentes proporciones de agregado grueso provenientes del reciclado de un RCD.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS.

Se utilizó un residuo generado por la demolición del pavimento de hormigón en la Ruta Nacional Nº 168 que une las localidades de Paraná y Sante Fe, cuya construcción tiene 40 años.

Se investigó sobre la factibilidad de su reutilización incorporándolo previo procesamiento, como componente de un nuevo hormigón. (Foto 1).



Foto 1: Acopio de pavimento demolido en estado antes de su procesamiento

En primer lugar se determinaron los volúmenes de los residuos que se generan en la etapa de demolición primaria y acopio, obteniéndose diferentes residuos. El resultado se indica en el Gráfico 1, donde se determinó que aproximadamente el 68% del total del RCD era apto para reciclar.

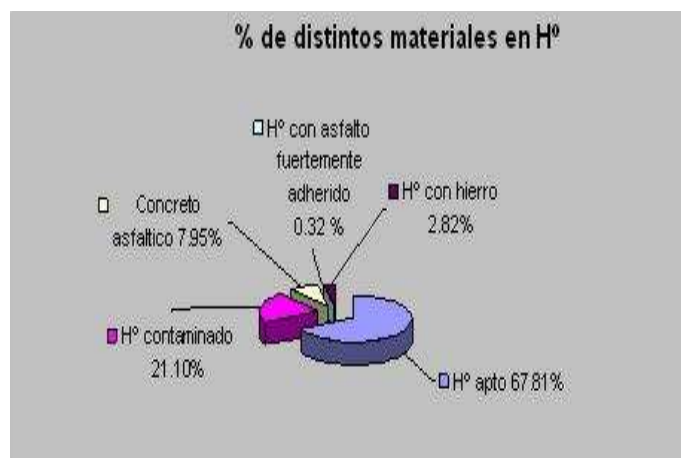


Gráfico 1: Composición por residuos del hormigón demolido después de su separación

La fracción apta del residuo, se roturó por impacto, reproduciéndose a escala de laboratorio el proceso de trituración, realizando un tamizado previo por una malla de 2". Se obtuvo un agregado grueso el cual fue incorporado en los diferentes pastones de estudio.

Los demás materiales componentes empleados en los pastones fueron de características comerciales del mismo origen que el de los materiales utilizados en el hormigón demolido.

Se realizaron ensayos de granulometría, módulo de fineza, grado de absorción, densidad saturada a superficie seca, peso unitario volumétrico, y ensayo de desgaste los Ángeles, tanto al material reciclado, como al canto rodado comercial.

La arena silícea comercial fue utilizada como agregado fino en todas las dosificaciones.

Para dosificar el árido fino se utilizó una composición de dos arenas, una fina (AF) y otra gruesa (AG); y la arena proveniente del canto rodado; resultando un módulo de fineza del conjunto (AG+AF+ACR) de 2,84.

El material pasante el tamiz N°4 del canto rodado comercial (9,15 % en peso) fue considerado como arena (ACR). Gráfico 2.

La granulometría del árido grueso reciclado fue compuesta en laboratorio idéntica a la del agregado natural comercial, con tamaño máximo de 25 mm (1") obteniéndose un módulo de fineza de 6,02. Gráfico 3.

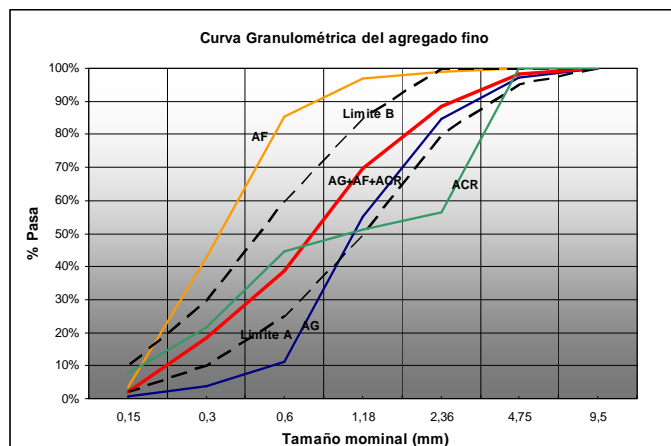


Gráfico 2: Composición granulométrica del agregado fino

En la Tabla 1 se indican las principales características de los agregados utilizados en la mezcla. Se puede observar el mayor desgaste obtenido en el árido reciclado, debido fundamentalmente al desprendimiento durante el ensayo del mortero adherido a las partículas pétreas.

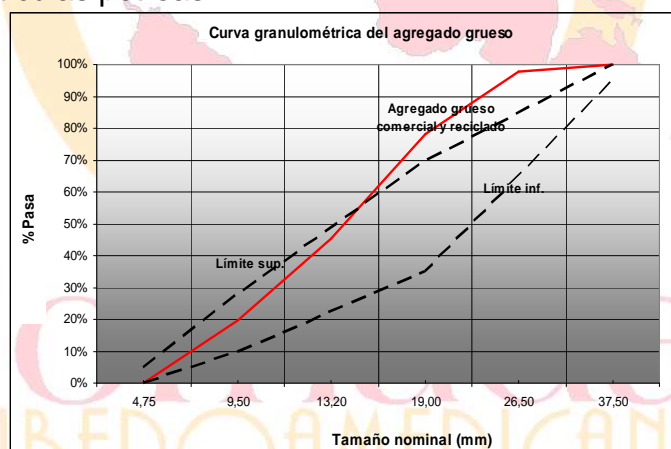


Gráfico 3: Composición granulométrica del agregado grueso

Tabla 1. Características de los agregados

Tipo de Agregado	Densidad S.S.S. (gr./cm ³)	Absorción %	Módulo de fineza	Peso Seco Compactado (gr./cm ³)	Desgaste Los Ángeles (%)
Canto Rodado	2.640	0,93	6,02	1.592	19.6
Agregado Reciclado	2.590	3,28		1.410	34.0
Arena Fina (AF)	2.644	1,20	1,73		
Arena gruesa (AG)	2.640	1,00	3,47		
Arena en canto rodado	2.640	1,00	3,19		

Dosificación del hormigón.

Se procedió a realizar la dosificación de los diferentes hormigones siguiendo el método de los pastones de prueba, adaptándolo a las condiciones de utilización simultánea de dos agregados gruesos diferentes, uno comercial y otro reciclado.

Parámetros de diseño de la mezcla:

- Resistencia característica: 25 Mpa.
- Relación a/c: 0.44
- Asentamiento esperado, medido con el cono de Abrams: 5 cm
- Se utilizó cemento Pórtland Tipo CPC40.

Los pastones se elaboraron con idénticas técnicas, no obstante, debido a la mayor absorción del agregado reciclado, para mantener la trabajabilidad de la mezcla fue necesario saturarlo, previo a su utilización.

En la Tabla 2 se indican los valores de densidades frescas, endurecidas y asentamientos, medidos en los diferentes tipos de pastones.

Tabla 2. Propiedades de la mezcla

Tipo de Hº	Df - Densidad del Hº fresco (kg/m³)	De - Densidad del Hº endurecido (kg/m³)	Asentamientos promedios (cm)
Hº Testigo	2402	2394	4,5
Hº 25%	2342	2334	4,0
Hº 50%	2342	2330	5,0
Hº 75%	2342	2323	4,5
Hº 100%	2313	2301	4,0

Se observa una tendencia a la disminución de la densidad del hormigón endurecido a medida que se incrementa en la mezcla la proporción del árido grueso reciclado. La densidad del hormigón fresco, tiende a disminuir a medida que aumenta el porcentaje de hormigón reciclado, no observándose mayores diferencias en los hormigones intermedios.

Elaboración de probetas para ensayo de compresión simple.

Para cada tipo de hormigón se moldearon 30 probetas cilíndricas de 15cmx30cm, sin incorporación de aditivos, curadas en cámara húmeda, y posteriormente ensayadas a la compresión simple, previo encabezado, a los 28 días.

En la Tabla 3 se indican los resultados de la resistencia a la compresión axial de cada tipo de hormigón.

Tabla 3. Características resistentes a compresión axial del hormigón

Tipo de H°	σ'_{bm} (MPa)	σ'_{bk} (MPa)	Desviación Standard	CV	Asentamiento medio (cm)
H° Testigo	31,96	27,98	2,33	7,29	4,5
H° 25%	24,90	21,57	1,75	7,03	4,0
H° 50%	30,37	25,04	2,81	7,25	5,0
H° 75%	29,72	27,79	1,04	3,45	4,5
H° 100%	33,57	30,31	1,88	5,6	4,0

Se observa que la resistencia característica del hormigón con agregado reciclado crece a medida que crece el porcentaje del mismo, y que para el pastón con 100% de agregado reciclado es mayor en un 8.33% a la del hormigón testigo.

Para la resistencia media esta tendencia no se manifiesta muy marcadamente, pero también se verificó que los valores del hormigón con 100% de agregado reciclado superan al hormigón testigo.

Según lo indicado por el ACI 214, los valores de CV determinados, reflejan un hormigón de excelente a muy buena calidad.

Elaboración de probetas para ensayo de flexión.

Se elaboraron pastones de idénticas características, dosificación, procesos y curado que los elaborados para compresión, respetando las variables de incorporación de agregado reciclado en un 25%, 50%, 75% y 100% respectivamente.

Se confeccionaron 8 probetas prismáticas de 15 cm. x 15 cm. x 75cm, para cada tipo de hormigón. En la Tabla 4 se indican los resultados obtenidos de la resistencia a flexión.

Tabla 4. Características resistentes a flexión del hormigón

Hormigón	Porcentaje de Canto rodado reciclado	Resistencia media a la flexión (Mpa)	Porcentaje de diferencia con el H° Testigo %
Testigo	0%	3.70	0.00
H° 25	25%	2.93	-20.81
H° 50	50%	3.81	2.97
H° 75	75%	3.87	4.59
H° 100	100%	3.27	-11.62

Elaboración de probetas para ensayo de tracción por compresión diametral

Se elaboraron para cada dosificación 8 probetas cilíndricas de 15 cm. x 30 cm.

En la Tabla 5 se indican los resultados de la resistencia de tracción por compresión diametral obtenidos.

Tabla 5. Resistencia de tracción por compresión diametral

Hormigón	Porcentaje de Canto rodado reciclado	Resistencia media a la tracción (Mpa)	Porcentaje de diferencia con el Hº Testigo %
Testigo	0%	3.26	0.00
Hº 25	25%	2.91	-10.74
Hº 50	50%	3.50	7.36
Hº 75	75%	3.48	6.75
Hº 100	100%	3.06	-6.13

3.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se observa que para la resistencia a la flexión los resultados obtenidos con un 50% y 75% de agregado reciclado resultan incluso superiores a las del hormigón testigo. En cambio resultan menores para hormigones con 100% y 25% de reciclado.

Esta dispersión puede ocurrir debido a la utilización de metodologías de cálculo para hormigones convencionales.

Deberían incrementarse los estudios de este nuevo material reciclado a los efectos de ir generando en el futuro nuevas tablas y fórmulas de cálculo.

Se observa en los resultados a la tracción por compresión diametral que nuevamente los valores con 50% y 75% de agregado reciclado son superiores a los del hormigón testigo y también resultan menores para hormigones con 100% y 25% de reciclado.

Es nuevamente válida la consideración realizada en el párrafo anterior respecto a la variación en los resultados.

4.- CONCLUSIONES

- La densidad del agregado reciclado es aproximadamente un 2% menor respecto a la del canto rodado comercial.
- Se registraron valores de desgaste promedio, 73% mayores en los agregados reciclados, respecto del agregado de control.
- Se observan valores de absorción del árido reciclado del orden de 3 veces superiores a la del agregado de control.
- Se observa una disminución de las densidades del hormigón a medida que se incrementa la incorporación del agregado reciclado en la mezcla elaborada. Para valores intermedios de incorporación de áridos reciclados, esta tendencia es mas marcada para el hormigón endurecido que para el hormigón fresco.

- e. El asentamiento obtenido en los pastones de los distintos tipos de hormigón estudiados no evidencia variaciones sustanciales, estando dentro de las tolerancias previstas por el Reglamento CIRSOC vigente.
- f. Según ACI 214, los valores de CV determinados, reflejan un hormigón de excelente a muy buena calidad.
- g. La resistencia característica, aumenta con el incremento de la cantidad de agregado reciclado en la mezcla. El valor de la resistencia característica del hormigón 100% reciclado es mayor que la del hormigón testigo en el orden del 8.33%.
- h. La resistencia media del hormigón con 100% de agregado reciclado supera en un 5% a la del hormigón testigo. El incremento de resistencia en los pastones con porcentajes intermedios de árido grueso reciclado, no evidencia una tendencia marcada.
- i. La resistencia a la flexión y la resistencia a tracción por compresión diametral en los hormigones con 50% y 75% de agregado reciclado resultan superiores a las del hormigón testigo. En cambio son menores para los hormigones con 100% y 25% de reciclado, siendo en este último caso más notoria la diferencia.
- j. Los resultados obtenidos tornan factible la posibilidad de la utilización de estos agregados reciclados para nuevos pavimentos como contribución al ahorro energético, a la disminución de los costos de construcción y al cuidado del medio ambiente.
- k. Estos hormigones pueden ser tratados como hormigones convencionales, pero teniendo en cuenta las diferencias entre el árido reciclado y el convencional. En particular tanto la absorción de agua como el desgaste, experimentan un importante aumento en los agregados reciclados respecto a los naturales. El aumento de la absorción condiciona sustancialmente la trabajabilidad, y el mayor desgaste la durabilidad.
- l. Se considera conveniente estudiar las mezclas a utilizar para cada proyecto con el fin de determinar los parámetros resistentes a incorporar en el cálculo, dadas las variaciones que se pueden registrar respecto de los valores recomendados por los manuales para mezclas convencionales.

5.- BIBLIOGRAFÍA.

- 1- **Bolla, G. L. ; López, P. V.; Facendini, S. R.** (2007). Relevamiento de Residuos Generados por la Industria y por la Construcción en los Departamentos: Paraná, Diamante, Victoria, La Paz y Nogoyá, de la Provincia de Entre Ríos. **4to Encuentro Proyecto Integrador PROCQMA**. Paraná, Argentina. 15 p.
- 2- Canadian Portland Cement Association. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Ottawa, Canadá. 50 p.
- 3- **Leonhardt, F. y Mönning, E.** (1985). Estructuras de hormigón armado Tomo I. Berlin, Alemania. 297 p.
- 4- **Calíço Lopes de Brito, J. M., Gonçalves, A. P., Lopes dos Santos, J. R.** (2006). Recycled concrete production. multiple recycling of concrete coarse aggregates. **Revista Ingeniería de Construcción**. Lisboa, Portugal. 8 p.
- 5- **Aguilar, C.; Muñoz, M. P.; Loyola, O.** (2005). El Hormigón Reciclado. Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería. Santiago de Chile. Chile. 47 p.
- 6- **Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural.** (2005). Plan de Gestión de RCD de Castilla La Mancha, España. 15 p.
- 7- **Lauritzen, E. K.** (1997). Producción de residuos de construcción y reciclaje. **Revista Residuos**. Madrid, España. 11 p.
- 8- **Castilla Gómez, J.** (2005). Fabricación de Hormigón Reciclado. Madrid, España. 8 p.
- 9- **Montoya, H. J.; Pino, C.; Valdez, G.** (2005) Reutilización de residuos de hormigón. Departamento de Obras Civiles de la Universidad de la Frontera, Chile. 4 p.
- 10- **SEDESOL.** (2005). Manual Técnico sobre generación y recolección de residuos sólidos municipales. México. 139 p.

EMPLEO DE MICRO-HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES EXPANSORES PARA EL REFUERZO DE PILARES DAÑADOS

David Revuelta Crespo⁽¹⁾, Pedro Carballosa de Miguel⁽²⁾, José Pedro Gutiérrez Jiménez⁽³⁾, Luis Fernández Luco⁽⁴⁾

(1) Laboratorio Oficial para Ensayo de Materiales de Construcción – LOEMCO. Calle Alenza, 1. 28003 – Madrid. España. E-mail: drevuelta@loemco.com.

(2) Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja – CSIC. Calle Serrano Galvache, 4. 28033 – Madrid. España. E-mail: carballosa@ietcc.csic.es.

(3) Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja – CSIC. Calle Serrano Galvache, 4. 28033 – Madrid. España. E-mail: jpgutierrz@ietcc.csic.es.

(4) Departamento de Estabilidad, Facultad de Ingeniería – Universidad de Buenos Aires. Av. Las Heras 2214 - 1º Piso. C1127AAR - Buenos Aires. Argentina. E-mail: estabil@fi.uba.ar

RESUMEN

En este trabajo muestra la posibilidad de empleo de una técnica de refuerzo de pilares de hormigón mediante la utilización de un encamisado exterior adecuadamente reforzado y el empleo de un micro-hormigón fluido de relleno colado entre la columna a reforzar y el encofrado. El diseño de este hormigón se realiza con retracción compensada, determinando la dosis de aditivo expansor requerida para alcanzar una expansión igual o ligeramente superior que la retracción prevista del micro-hormigón. De esta forma el refuerzo es más eficaz ya que entra en carga con el propio sistema de ejecución, sin necesidad de una compresión adicional exterior que solicite el pilar. La característica de autocompactabilidad del micro-hormigón de relleno permite asegurar el correcto llenado del encofrado de refuerzo, operación que siempre es difícil de realizar con los hormigones y morteros tradicionales. Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación de España, a través del proyecto de referencia BIA2007-62464, a través de la convocatoria de Ayudas a Proyectos de I+D 2007. Así mismo, los autores del trabajo agradecen la colaboración de la empresa SIKA, S.A.U., por los medios materiales y humanos puestos a disposición del mismo.

ABSTRACT

This paper shows the possibility of using reinforcement techniques for concrete columns by means of external reinforcement casings and the use of a highly fluid concrete as filling for the casing-column space. This concrete may be designed as shrinkage-compensated concrete, reaching a final expansion to compensate the natural expected shrinkage of the concrete. Thus, the reinforcement is far more effective since it is loaded just from the beginning of the work. The self-compactability of the concrete ensures the correct filling of the gap between the column and the reinforcement casing. This work was possible thanks to the funding of the Ministry of Science and Innovation of Spain, project ref. BIA2007-62464, and to the collaboration of SIKA S.A.U.

PALABRAS CLAVE: Refuerzo de pilares, confinamiento, hormigón de retracción compensada, hormigón autocompactante.

1.- INTRODUCCIÓN

El refuerzo de pilares mediante técnicas de confinamiento es una metodología conocida, y sobre la que existen distintas variantes. El procedimiento tradicional es construir un encofrado de acero que actúa así mismo de refuerzo, colocar o no armadura convencional entre el elemento y la camisa de acero, y rellenar el hueco con un hormigón o micro-hormigón fluido (Calavera, J. *et al.* (1999)).

Con el desarrollo de fibras sintéticas largas y de alto módulo (fibra de vidrio, fibras de carbono, aramidas, etc.), han surgido dos alternativas a este procedimiento: métodos de confinamiento directo (wrapping), en el que se “envuelve” el pilar con la fibra y luego se aplica un recubrimiento (Figura 1) y métodos de confinamiento indirecto, según el cual se construye un encofrado que contiene la fibra de refuerzo y luego se rellena el hueco con un mortero fluido de adecuada resistencia (shell-wrapped column) (Chung H.-S. *et al.* (2002)).

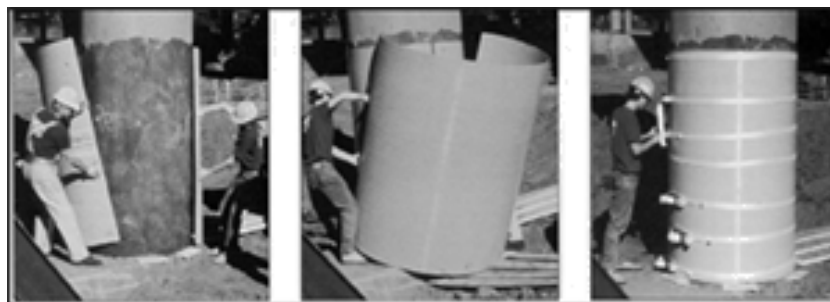


Figura 1: colocación de camisa de refuerzo de fibra sintética en un pilar (Vector-ply)

El diseño y modelación numérico-experimental del sistema de refuerzo ha sido objeto de numerosos estudios, pero pocos esfuerzos, si alguno, se han orientado hacia el diseño específico del hormigón fluido que rellena el encamisado y que constituye el vínculo para transferencia de esfuerzos. Es más, las características reológicas del hormigón no se incluyen como parámetros esenciales en los modelos desarrollados (Sheik S.A. (2002), Toutanji *et al.* (2002), Parvin *et al.* (2002)).

En el caso de emplear camisas de refuerzo externas, esta situación implica que el refuerzo no contribuye al conjunto para las cargas de trabajo habituales de la estructura sino que trabajará cuando las sobrecargas induzcan mayor deformación en el pilar, éste se deforme y la camisa de refuerzo quede en tensión.

El llenado con el mortero del espacio entre la camisa y el pilar es una tarea difícil y la técnica empleada no asegura su llenado completo. Una alternativa para mejorar estas situaciones es diseñar un mortero autocompactable y expansivo para el relleno del encofrado de refuerzo (ACI 223-98 (2001), Hammer *et al.* (2001), Calo, D. *et al.* (2003)).

La característica de autocompactabilidad del mortero permitirá asegurar el correcto llenado del encofrado de refuerzo de carbono, incluso procediendo a su inyección desde la zona inferior del pilar, en tanto que la característica de expansivo, optimiza la condición estructural del sistema.

Simultáneamente, se propone diseñar un hormigón de retracción compensada (shrinkage-compensating concrete), material que por sus características de expansión controlada en el estado endurecido puede compensar las retracciones. Estos hormigones requieren de un refuerzo resiliente, que en este caso estará constituido por la camisa externa. De esta manera, no sólo se mejora la condición de trabajo ante una sobrecarga extraordinaria, sino que también puede obtenerse un mejor comportamiento estructural del pilar para las cargas habituales de servicio, haciendo más eficiente la técnica de refuerzo.

Es decir, que entre las ventajas y beneficios esperables si se utiliza un micro-hormigón autocompactable de retracción compensada podemos citar:

- La existencia de una deformación controlada inicial asegura la puesta en tensión del sistema de refuerzo, con lo que la contribución del confinamiento a la capacidad estructural del pilar está asegurada para el nivel de cargas actuantes, sin que sea necesario incurrir en mayor deformación (efecto de sobrecargas).
- Esta situación incrementa la capacidad de respuesta de la solución a todos los casos y no sólo aquellos en los que se prevé un incremento de la capacidad de carga de la estructura.
- Se asegura un correcto llenado del hueco entre pilar y encofrado; dadas sus características expansivas, no hay deficiencias en la transmisión de esfuerzos y se reduce la formación de fisuras de contracción en el mortero.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo del diseño de hormigones con retracción compensada es el determinar la dosis de aditivo expensor requerida para alcanzar una expansión igual o ligeramente superior que la retracción prevista del hormigón.

La expansión no depende únicamente de la dosis de aditivo, también depende de la cuantía del refuerzo (ACI 223-98, 2001) y de la rigidez del hormigón (Calo, D. *et al.* (2003)). Por otro lado, la retracción por secado del hormigón puede variar en función de la relación entre la superficie expuesta del elemento y el volumen de hormigón.

El Código ACI 223 establece el procedimiento de diseño en función de la relación entre la expansión del miembro, la expansión de prismas normalizados, y el porcentaje de refuerzo cuando el elemento y el prisma están fabricados con el mismo hormigón y se curan en condiciones idénticas. El ensayo de expansión medida sobre probetas prismáticas se describe en la Norma ASTM C878 (2009). La figura está basada en datos publicados (Russell, H. G., 1973) e indica que para una expansión medida sobre prismas, una mayor cantidad de refuerzo reduce la expansión.

Si se emplea una camisa de refuerzo para reparar una columna, y el hueco existente entre la camisa y la columna de hormigón se llena con un hormigón de retracción compensada, la situación es similar, ya que hay un cierto grado de restricción impuesto a la expansión; pero el grado de restricción es desconocido. En un caso ideal, podría representarse mediante una línea recta, equivalente a una determinada cuantía de refuerzo.

Sin embargo, existen diferencias. La principal consiste en el régimen de secado, ya que el único modo que tiene de secarse el relleno es por absorción de agua por el hormigón seco del elemento a reforzar. A la larga, las humedades relativas en ambos tipos de hormigón deberían igualarse.

Para reproducir experimentalmente estas situaciones, se reemplaza el hormigón interior por un anillo de acero muy rígido, que se envuelve con la camisa de refuerzo. Se asegura la alineación correcta de los elementos, y posteriormente, se rellena el hueco con el hormigón autocompactante de retracción compensada.

Con el mismo hormigón se fabrican probetas prismáticas según el procedimiento ASTM C878, obteniendo así datos comparables.

La expansión real del hormigón de retracción compensada que rellena el hueco se mide mediante galgas extensométricas adheridas a la camisa, más galgas adicionales en la parte interior del anillo, para cerciorarse que se comporta como un sólido rígido, tal como se muestra en la Figura 2.

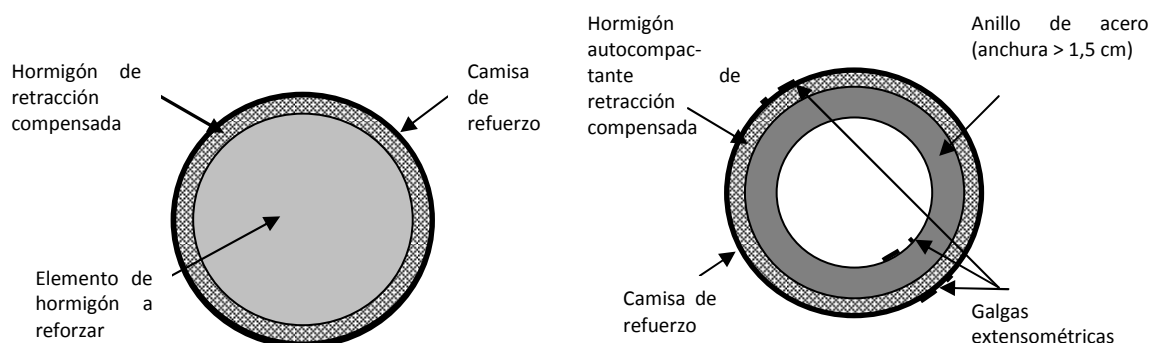


Figura 2. Columna circular reforzada y esquema del aparato diseñado para evaluar la restricción a la expansión impuesta por el refuerzo.

De acuerdo con ACI 223, existe una relación lineal entre el grado de expansión medido sobre probetas prismáticas, de acuerdo con la Norma ASTM C878, y la expansión efectiva en el elemento de hormigón; estas líneas pasan siempre por el centro de coordenadas. Por tanto, sólo se requiere un ensayo para identificar la línea que representa la restricción efectiva provista por un sistema determinado de refuerzo.

La expansión se evalúa comparando las lecturas a partir de las galgas extensométricas. El ensayo se detendrá hasta que la deformación cesa (por ejemplo, a los 7 días).

La expansión sobre prismas según ASTM C878 debería medirse en dos condiciones: a) curado en condiciones de saturación hasta los 7 días y b) sellado con doble capa de polipropileno hasta la estabilización de la expansión. El primer caso corresponde al procedimiento estándar, mientras que el segundo trata de representar la situación real en la estructura, ya que no hay aporte de agua externa al hormigón de retracción compensada.

Para evaluar la autocompactabilidad, existen diversos métodos pero los más habituales son el ensayo de escurrimiento, el ensayo del embudo "V", el ensayo de la caja en "L" (Revuelta, D. *et al.* (2003)). A continuación se hace una breve descripción de estos ensayos.

El ensayo de escurrimiento o slump flow en inglés, es el método más utilizado por su sencillez tanto en la ejecución como en el equipo que precisa. Este ensayo se puede realizar tanto en laboratorio como en obra. El objetivo del ensayo es evaluar la capacidad del hormigón para fluir sin ningún obstáculo. Además también permite observar si hay segregación o no. Este ensayo da una medida indirecta del parámetro reológico de tensión de umbral. Para la realización del ensayo se emplea

el cono de Abrams y una placa de acero plana cuyas dimensiones mínimas son 800 x 800 mm y 2 mm de espesor. En esta placa hay 2 circunferencias concéntricas marcadas, una de 200 mm de diámetro y otra de 500 mm de diámetro.

Para realizar el ensayo, se coloca el cono, ayudándose de la marca circular de 200 mm, en el centro de la bandeja. El molde se llena de una sola vez, y no se compacta el hormigón. A continuación, se enrasa el hormigón y se levanta el molde. Los resultados que se obtienen son T_{50} , que es tiempo que tarda el hormigón en alcanzar la circunferencia cuyo diámetro es 500 mm, y d_F que es el diámetro final alcanzado por el hormigón una vez cesa completamente el movimiento, expresado como la media de dos medidas en direcciones perpendiculares. Este ensayo también es útil para observar la posible segregación del árido grueso (mayor concentración en la zona central), o la exudación de la pasta en la zona perimetral.

El ensayo del embudo “V”, o V-funnel en inglés, tiene por objetivo evaluar la capacidad de paso y la fluidez del hormigón al pasar por una sección de menor tamaño. Es un ensayo que mide indirectamente el parámetro reológico de la viscosidad plástica de la mezcla.

Para la realización del ensayo se emplea un embudo cuyas dimensiones se especifican en la Figura 3 según la Norma Española UNE 83364:07.

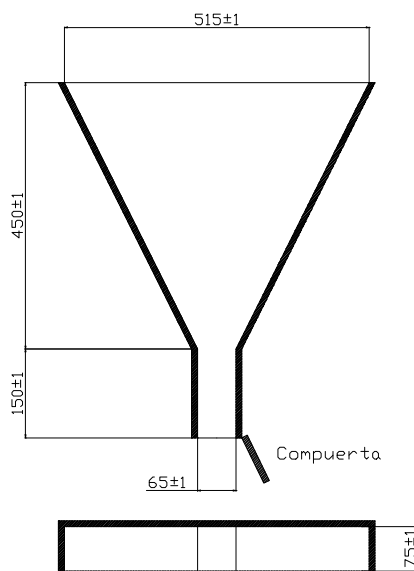


Figura 3. Dimensiones del embudo en V.

El embudo se coloca sobre un soporte con un recipiente debajo que recoja el hormigón. Se llena el embudo de una sola vez, se enrasa el hormigón y se abre la compuerta inferior. Se mide el tiempo que tarda en salir el hormigón del embudo, denominado T_v , considerando ese momento el instante en que, observando el flujo desde la parte superior, se vislumbra luz a través de la boca inferior.

El ensayo de la caja en “L” o L-Box en inglés, tiene por objetivo evaluar la capacidad de paso del hormigón autocompactante a través de barras de armaduras sin que se produzca bloqueo. Para la realización del ensayo se necesita de una caja en “L” como se muestra en la Figura 4, que puede tener 2 ó 3 barras dependiendo del tamaño máximo del árido. El procedimiento consiste en llenar de una sola vez, con la compuerta cerrada, la parte vertical de la caja. A continuación se enrasa el hormigón y se abre la compuerta. Una vez cesa el movimiento, se determinan las alturas de la masa de hormigón en reposo en el lado de la compuerta y en el extremo horizontal de la caja.

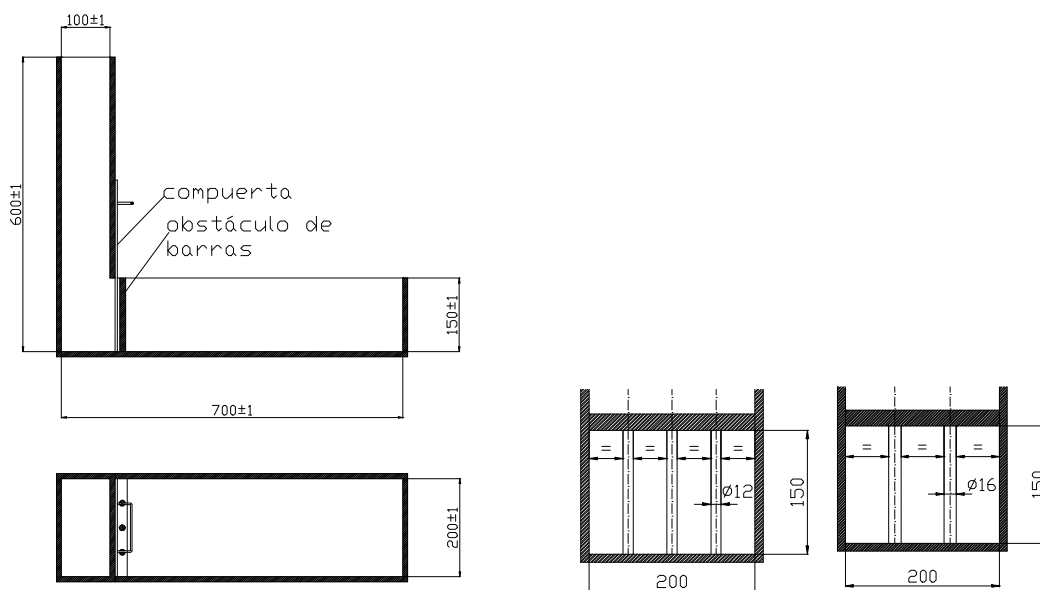


Figura 4. Dimensiones de la caja en L.

3.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se decidió emplear un micro-hormigón autocompactante pre-dosificado por una casa comercial. Los ensayos mencionados previamente se llevaron a cabo para la caracterización del micro-hormigón proporcionado por la empresa en el estado fresco. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 1. Caracterización del micro-hormigón autocompactante en el estado fresco.

Característica	Norma de ensayo	Parámetro	Valor
Relación agua/cemento			0,12
Densidad	UNE EN 12350-6	D (kg/m ³)	2.290
Contenido de aire	UNE EN 12350-7	%	2,0
Escurrimiento	UNE 83361	d _f (mm)	725
		T ₅₀ (s)	2
Embudo en V	UNE 83364	T _v (s)	3
Caja en L	UNE 83363	C _{bL}	0,98

Por todo ello se deduce que el micro-hormigón preparado posee todas las características necesarias para ser considerado autocompactante.

A continuación, sobre la misma mezcla, se caracterizaron las principales propiedades mecánicas del material a los 28 días, tras curado normalizado en condiciones estándar (20°C, HR > 90%), recogidas en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización del micro-hormigón autocompactante en el estado endurecido.

Característica	Norma de ensayo	Parámetro	Valor
Resistencia a la compresión	UNE EN 12390-3	f _c (MPa)	37,2
Resistencia a la flexotracción	UNE EN 12390-5	f _{cf} (MPa)	5,4
Módulo elástico	UNE 83316	E (GPa)	27,3

Los valores obtenidos se consideraron normales, y compatibles con cualquier hormigón habitualmente empleado en pilares.

Una vez comprobada la autocompactabilidad de la mezcla, se evaluó el grado de expansión sobre probetas prismáticas, para evaluar la dosis de aditivo expansor a emplear. Para ello se moldearon series de probetas de acuerdo a la norma ASTM C878.

Se emplearon dos dosis de aditivo expansor para poder determinar la dosis óptima a emplear. Se fabricaron probetas de hormigón autocompactante a las que se añadieron porcentajes del 10% y el 15% de aditivo expansor en función del contenido de cemento.

Para cada dosis de aditivo, se moldearon probetas suficientes para conseguir los dos siguientes regímenes de curado:

1. Siete días de curado en cámara húmeda ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, HR > 95%), más curado en cámara seca ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, HR $50\% \pm 5\%$)
2. Probetas envueltas en film aislante, siete días de curado en cámara húmeda ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, HR > 95%), más curado en cámara seca ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, HR $50\% \pm 5\%$)

A continuación se muestran los resultados de expansión y secado de las series mencionadas.

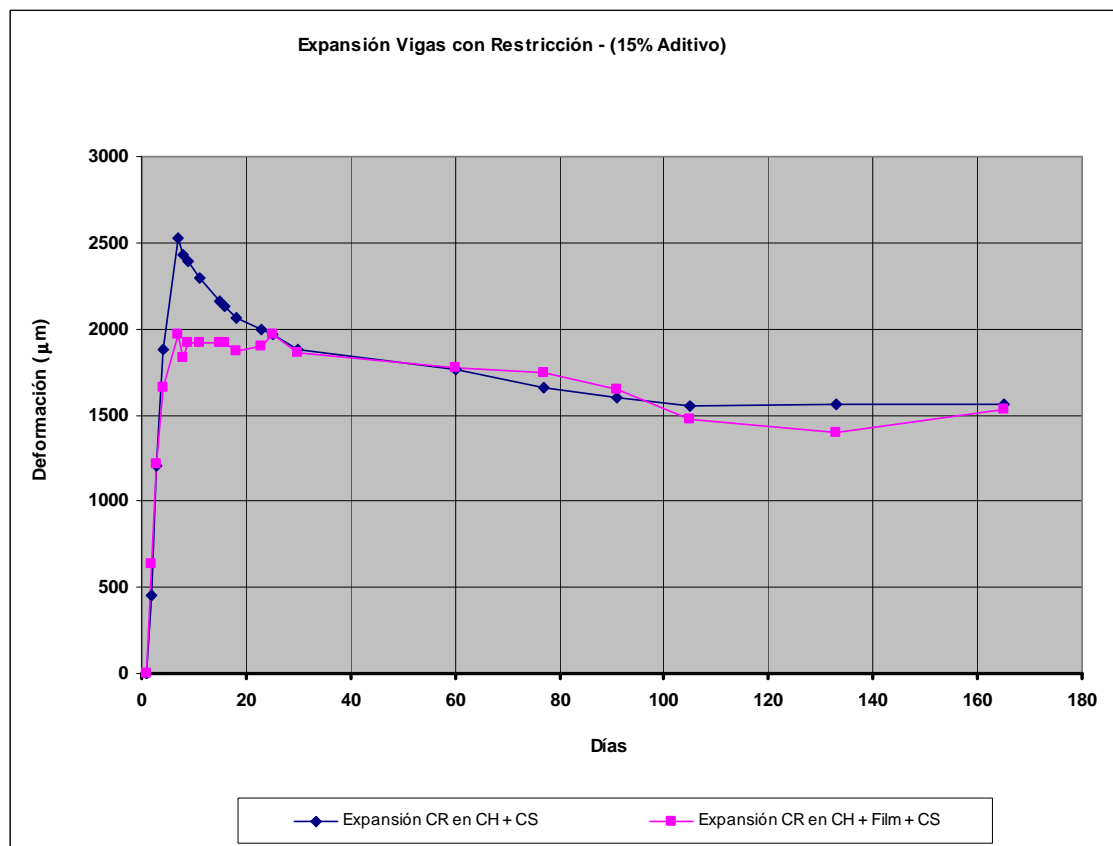


Figura 5. Resultados de expansión con un 15% de aditivo expensor.

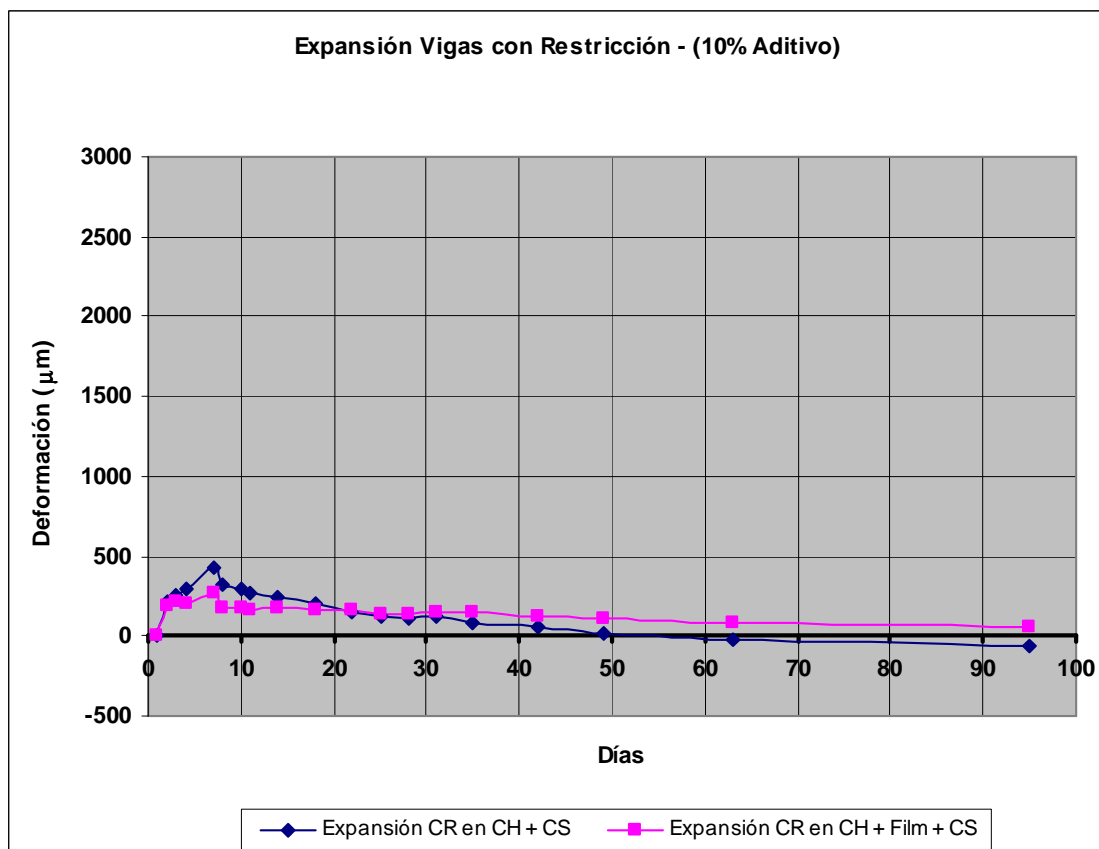


Figura 6. Resultados de expansión con un 10% de aditivo expansor.

De la observación de las curvas de expansión y secado, se deduce que la expansión en las probetas sin envoltura de polipropileno se produce claramente durante los 7 primeros días, en los que las probetas están expuestas a una atmósfera saturada y por tanto hay aporte de agua abundante para que se produzcan las reacciones expansivas en el aditivo. Una vez se sacan de la cámara húmeda y cesa el aporte de agua externa, comienza claramente el secado, más acentuado durante los primeros días, y se produce la consiguiente retracción.

El efecto de la dosis de aditivo es muy relevante en las probetas al aire, sin envoltura de polipropileno. La expansión máxima alcanzada con un 15% de aditivo es del orden de cinco veces la alcanzada con un 10% del compuesto expansor. De hecho, la dosis del 10% no es suficiente para impedir la retracción global del elemento, ya que transcurridos 60 días desde la amasada las probetas experimentan una pérdida de longitud respecto al tamaño inicial.

En cuanto a los regímenes de secado, la velocidad del mismo es similar e independiente de la dosis de aditivo.

Hay que tener cuidado al interpretar los resultados sobre las probetas envueltas en aislante de polipropileno. En este caso, el único aporte de agua debe provenir del interior de la probeta. Este fenómeno se comprobó observando el momento en que finalizó la expansión. Aunque el hormigón con un 15% de aditivo expandió hasta el séptimo día, edad que coincide con el hormigón con aporte de agua externo, el hormigón con el 10% sólo experimentó la expansión prevista hasta el cuarto día. Este hecho concuerda con la dosis inferior de aditivo, puesto que es de suponer que para la dosis del 10% se alcanzó la reacción total del compuesto antes que en el hormigón con un 15% de aditivo, sin posibilidad de producirse expansiones adicionales a posteriori.

Por último, una vez finalizadas las reacciones de expansión, se apreciaron cambios de longitud en el sentido contrario. Este hecho era de esperar, ya que es bien conocido el fenómeno de que el hormigón, aun sin experimentar contracciones por secado por no tener pérdida de agua al exterior, sí que sufre disminuciones de volumen debido a la retracción autógena. La magnitud de esta retracción es inferior a la de secado.

Ha de tenerse en cuenta que la situación más susceptible de experimentar el relleno empleado en el refuerzo de un pilar mediante camisas es la anterior, en la que el hormigón no recibe ni aporte externo de agua ni pérdidas significativas, ya que la superficie expuesta se limitará a los extremos superior e inferior de la camisa. Por tanto se concluye que, aunque el hormigón experimenta cierta retracción autógena a partir de que cesan las reacciones de expansión, el agua interna contenida en el hormigón es suficiente para asegurar que la magnitud de estas expansiones compensan el efecto posterior de la retracción autógena, por lo que el cambio de volumen experimentado por el material permanece dentro de magnitudes positivas (expansión).

A partir de las mediciones de expansión en vigas normalizadas se decidió emplear la dosis de aditivo del 15%, ya que, según los resultados, proporcionaba los rangos de expansión adecuados.

Por tanto, a continuación se moldearon distintos anillos con camisas de acero y de fibra de carbono para evaluar el grado de restricción impuesto por los mismos. Se evaluaban tres regímenes de curado. Un anillo se conservaba en cámara húmeda, otro se envolvía en film y se conservaba en cámara seca, y un último anillo se conservaba en cámara seca sin ningún tipo de protección.

A continuación se muestran los resultados de expansiones medidas según la configuración de dispositivo propuesto anteriormente.

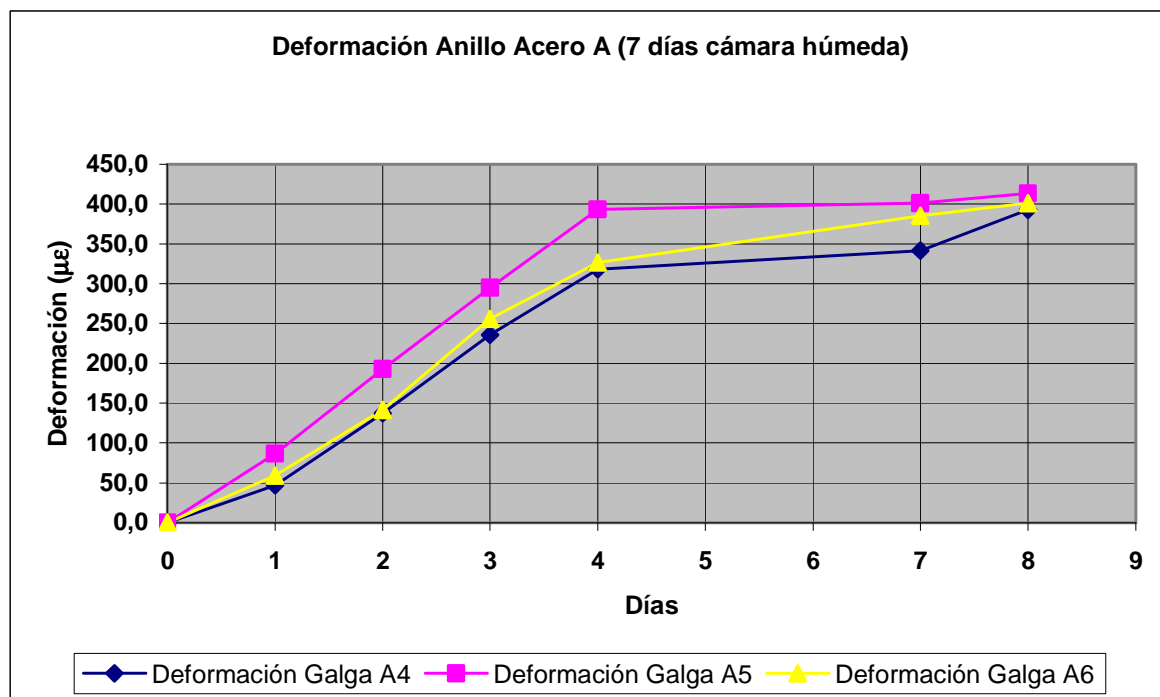


Figura 8. Resultados de expansión para una camisa de acero, conservado en cámara húmeda.

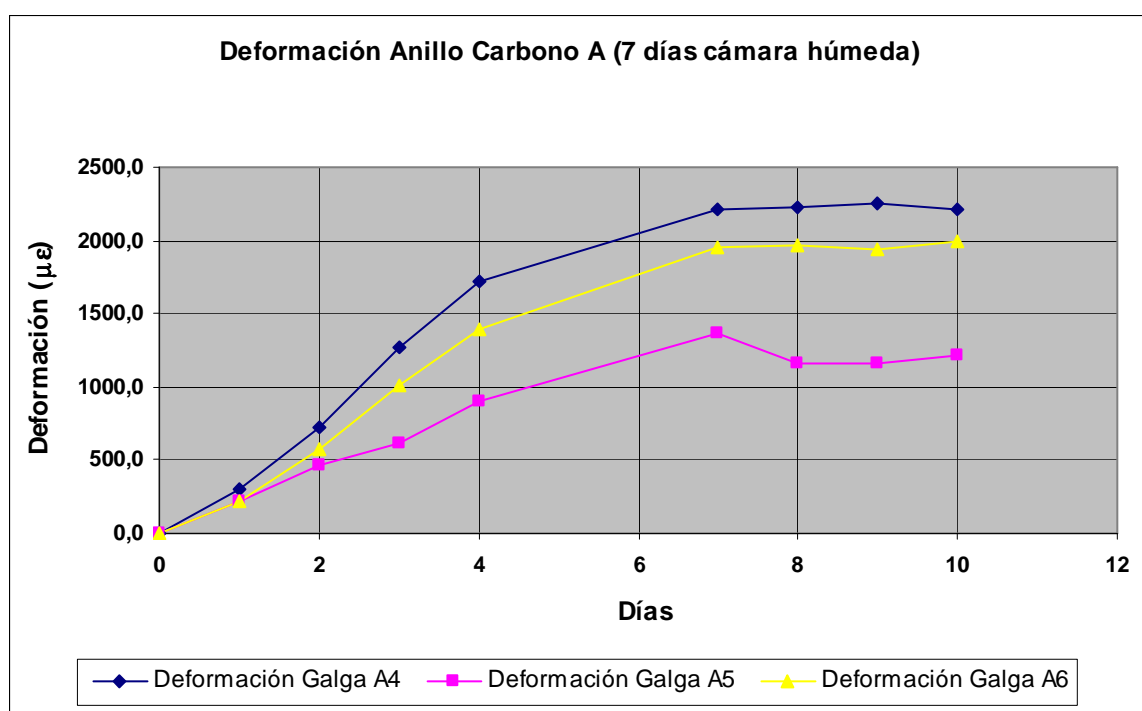


Figura 8. Resultados de expansión para una camisa de fibra de carbono, conservado en cámara húmeda.

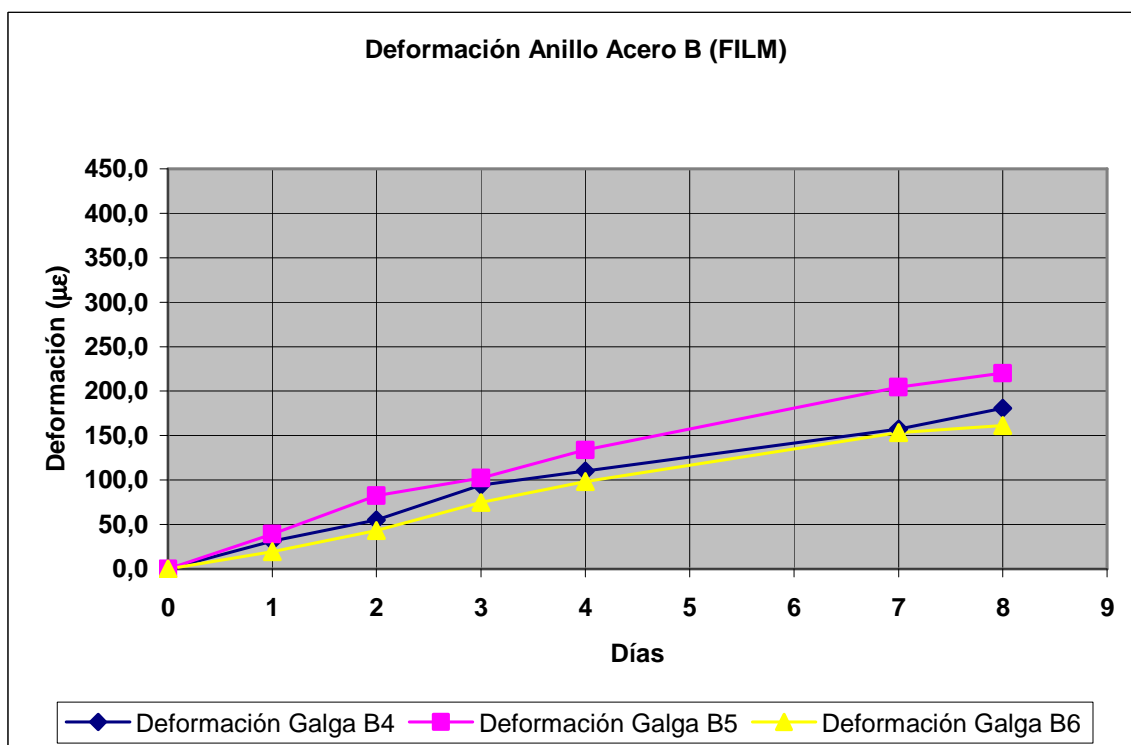


Figura 9. Resultados de expansión para una camisa de acero, conservado envuelto en film de polipropileno.

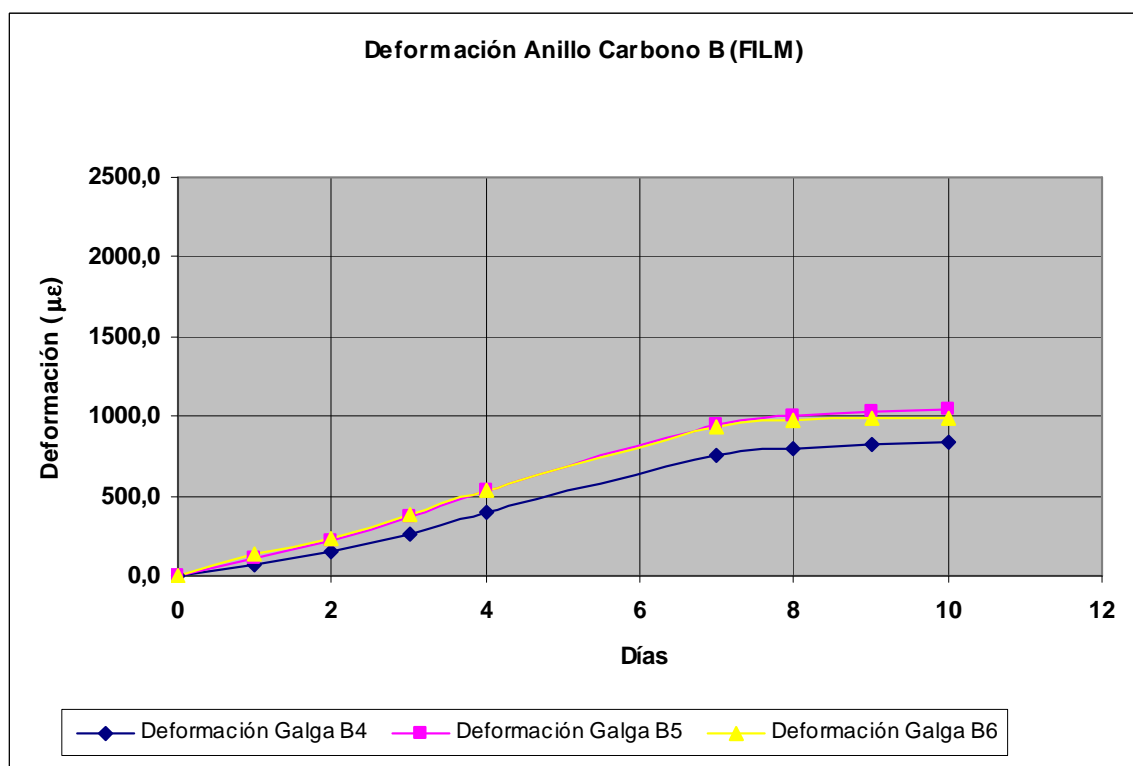


Figura 10. Resultados de expansión para una camisa de fibra de carbono, conservado envuelto en film de polipropileno.

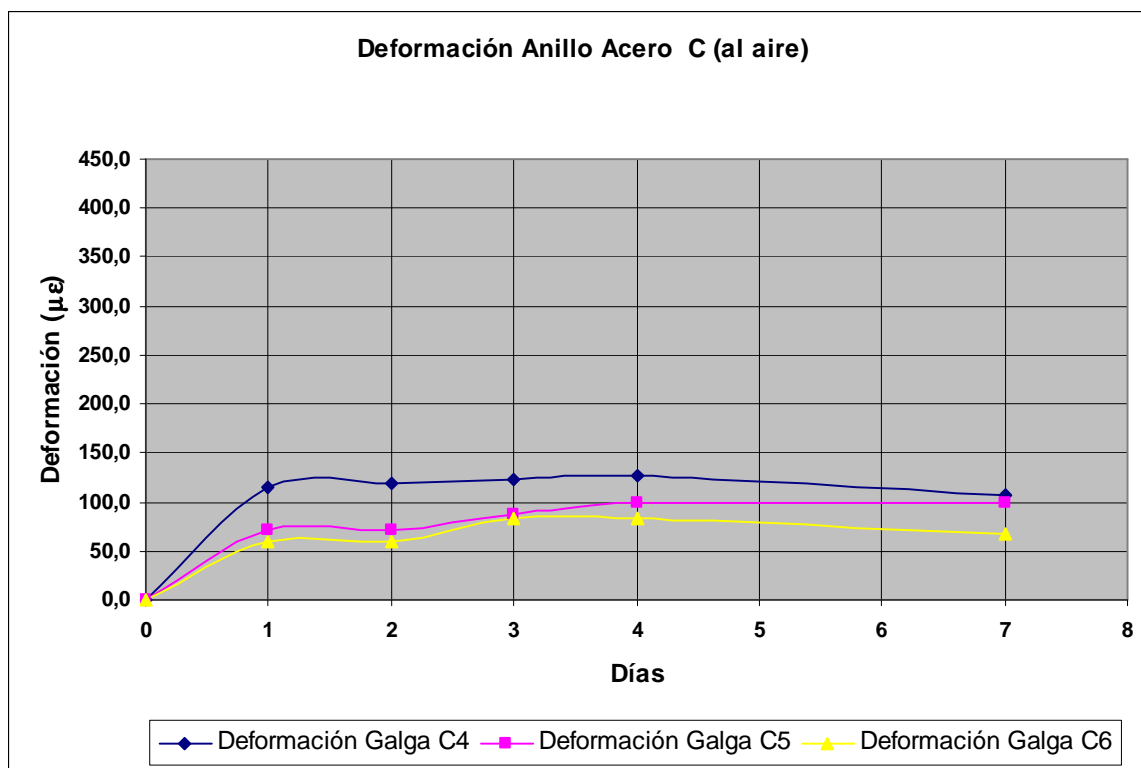


Figura 11. Resultados de expansión para una camisa de acero, expuesto al aire.

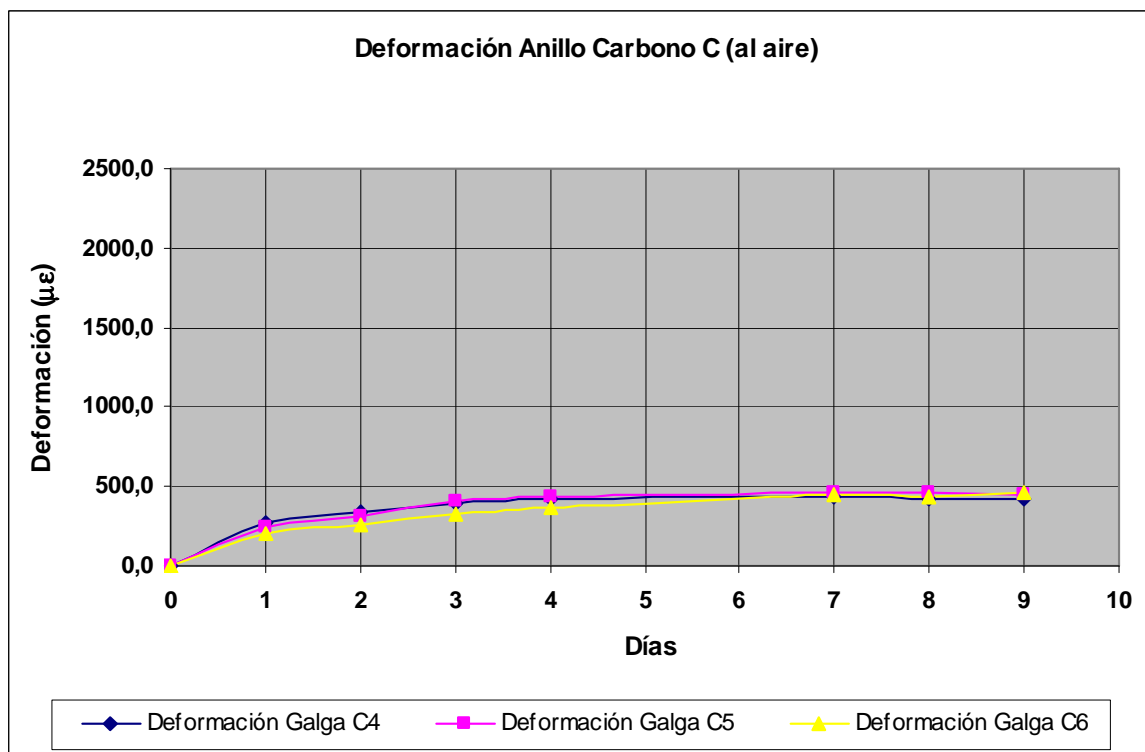


Figura 12. Resultados de expansión para una camisa de fibra de carbono, expuesto al aire.

Los resultados permitieron comprobar que las camisas exteriores tanto de acero como de fibra de carbono entraban en todos los casos efectivamente en tensión debido a la acción del hormigón expansivo que se empleó para rellenar el hueco entre la camisa exterior y el anillo de acero interior que simula un pilar de hormigón. Las deformaciones medidas sobre el anillo interior fueron despreciables, lo que indica que efectivamente simula el efecto de un pilar macizo.

Los dispositivos conservados en cámara húmeda experimentaron las mayores deformaciones, y se observó que éstas cesaban alcanzado el cuarto día, en el caso del acero, y el séptimo en el caso de la fibra de carbono. Puesto que los anillos se moldearon a partir de la misma amasada, con la misma dosis de aditivo (15% en peso del cemento), y en este caso el hormigón tiene aporte de agua externo, se deduce que todo el compuesto ha reaccionado, y se ha alcanzado la deformación máxima que es posible obtener.

En cuanto a los anillos envueltos en film, transcurridos ocho días, habían alcanzado aproximadamente la mitad de la deformación máxima experimentada por los anillos conservados en cámara húmeda, aunque continuaban creciendo con una tendencia aproximadamente lineal. Hay que tener en cuenta que en este caso el agua necesaria para

las reacciones de expansión proviene de la contenida inicialmente en el propio hormigón, y que este caso es el que más se puede asimilar a la situación real de refuerzo de un pilar, en el que el mortero de relleno no tiene contacto con la atmósfera exterior. En cualquier caso, se considera que esta situación es igualmente satisfactoria, ya que el experimento demuestra que el aporte de agua interna es suficiente como para asegurar que se produce un efecto expansivo que es capaz de poner en tensión la camisa de refuerzo.

Por último, las expansiones medidas sobre los anillos expuestos directamente al aire, aunque positivas, cesaron transcurrido un solo día desde la amasada, siendo sólo un 25% de la máxima expansión medida sobre los anillos conservados en atmósfera saturada. Este fenómeno se achaca a que el secado experimentado por el hormigón del anillo es muy fuerte, y se pierde la mayoría del agua contenida, por lo que cesan las reacciones de expansión sin que se haya producido la hidratación de la totalidad del compuesto expansivo. Esta situación es la que podría darse en los extremos de una camisa real de refuerzo. Sin embargo, el pequeño tamaño de esa área hace que no sea muy relevante su estudio. Aun así, el observar que se siguen produciendo expansiones asegura que toda la camisa entre en tensión, por lo que se evita que se produzcan posibles pérdidas de contacto entre el hormigón de relleno, el pilar y la camisa de refuerzo.

Las expansiones medidas sobre los anillos permitió la comparación con los resultados de expansión medidos sobre las vigas. Las figuras a continuación muestran la correlación entre los anillos conservados en film, puesto que son los que más se asemejan a la condición real sobre el pilar, y las vigas prismáticas confeccionadas de acuerdo con la Norma ASTM.

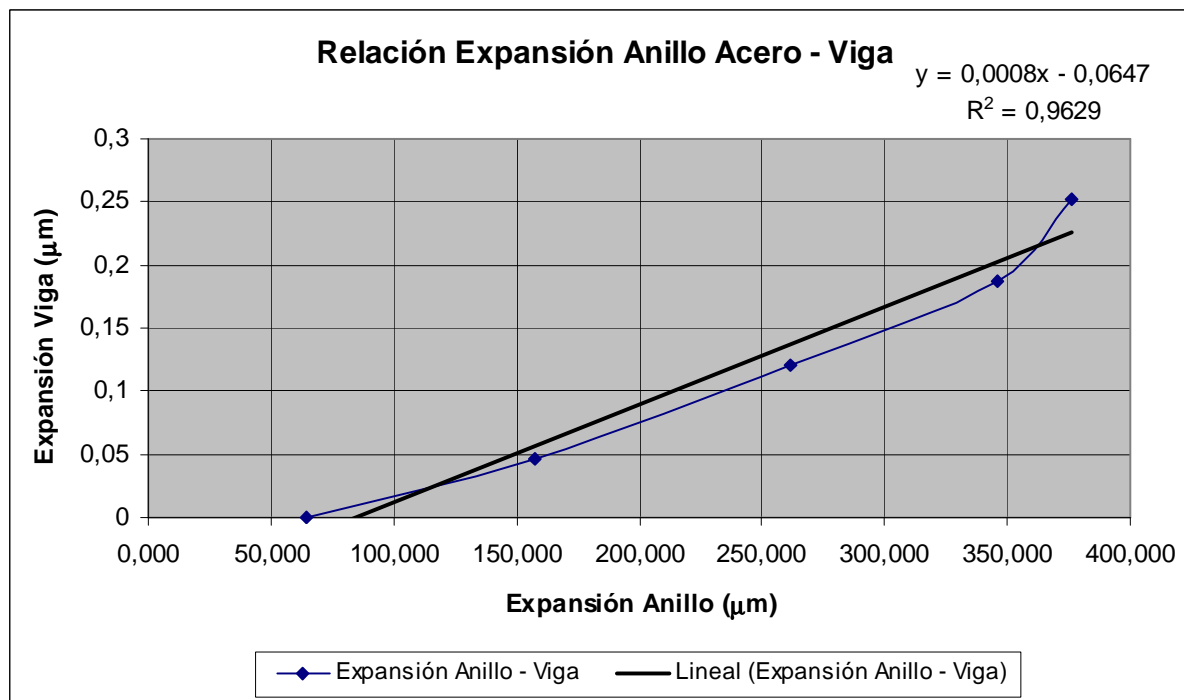


Figura 13. Comparación entre la expansión sufrida por los anillos de acero y la de probetas prismáticas

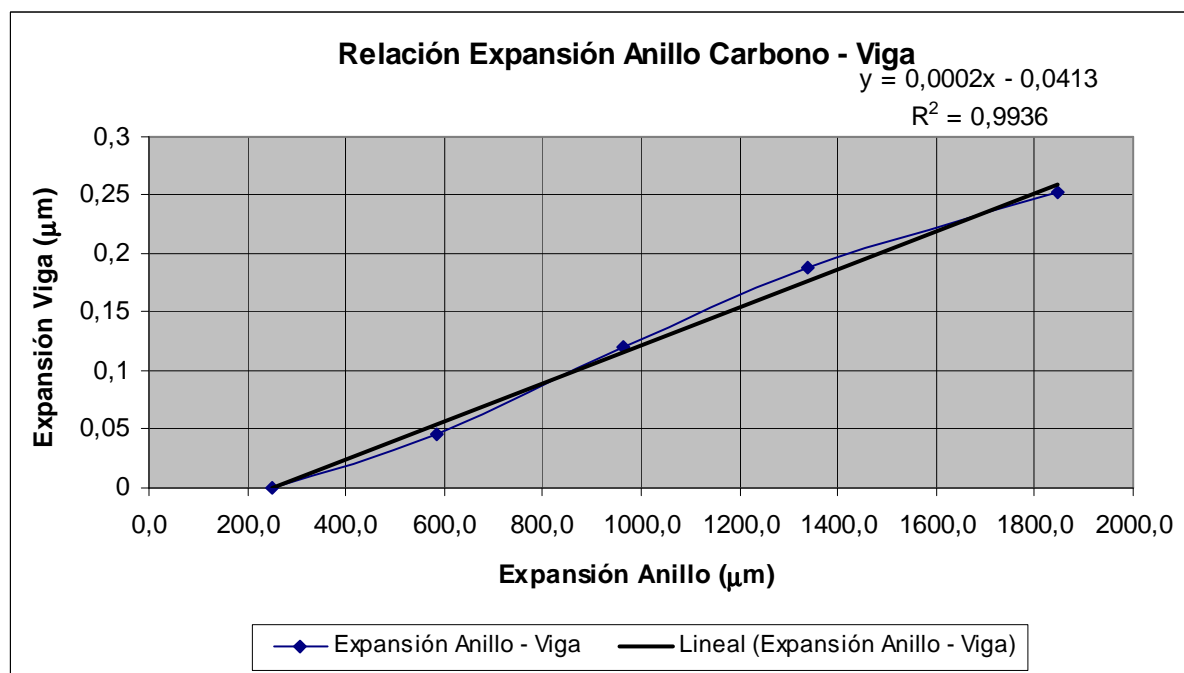


Figura 14. Comparación entre la expansión sufrida por los anillos de carbono y la de probetas prismáticas

Los resultados demuestran que, efectivamente, la relación entre la deformación sufrida por la camisa de refuerzo y la experimentada por probetas prismáticas con restricción de acuerdo a la norma ASTM C878 son lineales, con muy buen grado de correlación. Por tanto, podría aplicarse el esquema de diseño propuesto en la ACI 223, actualizando los ábacos de diseño a las medidas realizadas con el dispositivo propuesto en este trabajo.

4.- CONCLUSIONES

De los resultados presentados se concluye que es posible emplear un micro-hormigón autocompactante de retracción compensada como relleno de camisas de acero para refuerzo de pilares de sección circular. Las reacciones expansivas que se producen en el hormigón ponen en tensión a la camisa de refuerzo desde el primer momento, con lo que se asegura su puesta en carga desde el mismo momento inicial de colocación del refuerzo, sin tener que esperar a que se produzcan sobrecargas adicionales sobre el pilar reparado.

Las características de autocompactabilidad del hormigón han de comprobarse previamente mediante los ensayos específicos diseñados para medir el comportamiento del hormigón en el estado fresco (escurrimiento, caja en L, embudo en V).

La expansión dependerá de la dosis de aditivo expansivo añadido al hormigón, por lo que debe diseñarse previamente la mezcla de hormigón. Para ello, puede emplearse la correlación existente entre un dispositivo en forma de anillo que simula el pilar a reforzar y probetas prismáticas de acuerdo a la norma ASTM C878, puesto que esta correlación es lineal y permite obtener rápidamente la expansión que va a experimentar la camisa de refuerzo en función de la medida sobre probetas normalizadas.

La presencia o ausencia de agua externa afecta a la cuantía de las deformaciones experimentada por las probetas prismática, pero no al comportamiento, por lo que puede establecerse un método de ensayo basado en condiciones estándar de conservación de las probetas. En las mediciones echas sobre los anillos se recomienda, no obstante, que se asegure que el material de relleno no recibe o pierde agua del exterior, ya que ésta es la condición real de trabajo del hormigón de relleno una vez puesto en obra. Esta situación no impide que el aditivo expansivo reciba agua suficiente como para asegurar que se producen expansiones de magnitud suficiente como para asegurar que la camisa de refuerzo entra en tensión.

5.- BIBLIOGRAFÍA

Calavera, J., Sobrino, J. A. (1999) Nuevas técnicas de evaluación estructural, rehabilitación y refuerzo de estructuras. *Grupo Español de IABSE*, 495 p.

Chung H.-S., Yang, K.-H., Lee, Y.-H., Eung, H.-C. (2002) Stress-strain curve of laterally confined concrete, *Engineering Structures*, #24, pp. 1153-1163.

Sheikh, S. A. (2002) Performance of concrete structures retrofitted with fibre reinforced polymers, *Engineering Structures*, #24, pp 869-879.

Toutanji, H., Deng, Y., (2002) Strength and durability performance of concrete axially loaded members confined with AFRP composite sheets, *Composites Part B: engineering*, Vol. 33, pp. 253-264.

Parvin, A., Wang W., (2002) Concrete columns confined by fiber composite wraps under combined axial and cyclic lateral loads, *Composite structures*, # 58, pp. 539-549.

Comité ACI 223-98, (2001) Standard Practice for the Use of Shrinkage-Compensating Concrete, *Manual of Concrete Practice*, Vol I..

Hammer, T. A., Johansen, K., Fyvind B., (2001) Volume changes as driving forces for self-induced cracking of Norwegian SCC, *International Workshop on Self Compacting Concrete, Japan*, Vol. 1, pp. 423-432..

Calo, D., Fernandez Luco, L. (2003) Shrinkage Compensated Concrete – Critical analysis and modifications of ASTM C 878 for determining the restrained expansion, *5th. International Colloquium Industrial Floors, Technische Akademie Esslingen, Alemania*.



Fernández Luco, L., Pombo, R., Torrent, R. (1999) Hormigón de retracción compensada para un gran piso industrial, *Concreto'99, Primer Congreso Panamericano del Cemento y del Concreto, México*.

ASTM C878 (2009). Standard Test Method for Restrained Expansion of Shrinkage-Compensating Concrete

Russell, H. G., (1973) Design of Shrinkage-Compensating Concrete Slabs, *Klein Symposium on Expansive Cement Concretes, SP-38, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.*, pp. 193-226.

Revuelta, D., Fernández Luco, L. (2003) Hormigón autocompactable – visión general, *Hormigón y Acero, nº 228-229*, pp. 133 – 137.

